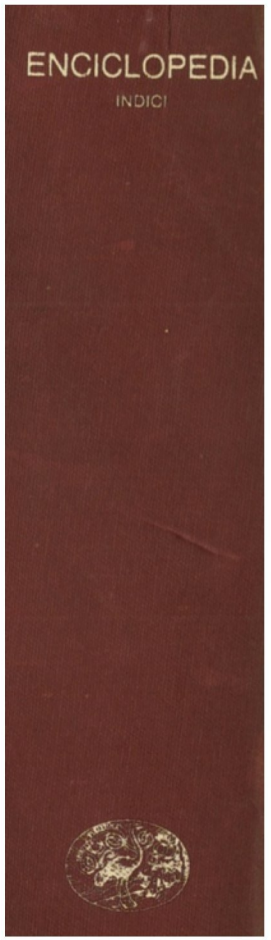


ENCICLOPEDIA EINAUDI [1982]

METODO

Giulio Giorello - **METODO** pag.4

Gerald Holton - **ANALISI/SINTESI** pag.11
Massimo Piattelli Palmarini - **ANTICIPAZIONE** pag.28
Gilles-aston Granger - **IPOTESI** pag.43
MATEMATICHE pag.52
METODO pag.70

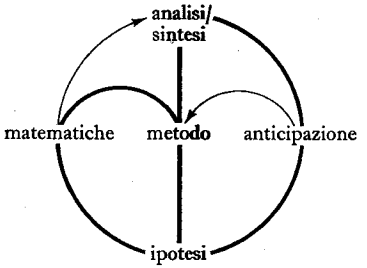
	anthropos	argomentazione	arti	calcolo	capitale	cervello	civiltà	classi	cognizione	combinatoria	comunicazione	concetto	conoscenza	corpo	creatività	cultura mat.
analisi/sintesi	6	5	1	5	7	5	·	6	6	5	6	7	6	5	6	4
anticipazione	·	·	·	·	·	5	·	·	·	·	·	·	5	·	7	·
ipotesi	4	2	2	4	6	5	·	3	6	4	4	6	7	3	6	·
matematiche	2	·	1	7	3	3	·	·	2	6	5	6	8	2	6	2
metodo	4	4	4	7	6	4	2	4	6	6	3	5	8	2	6	5

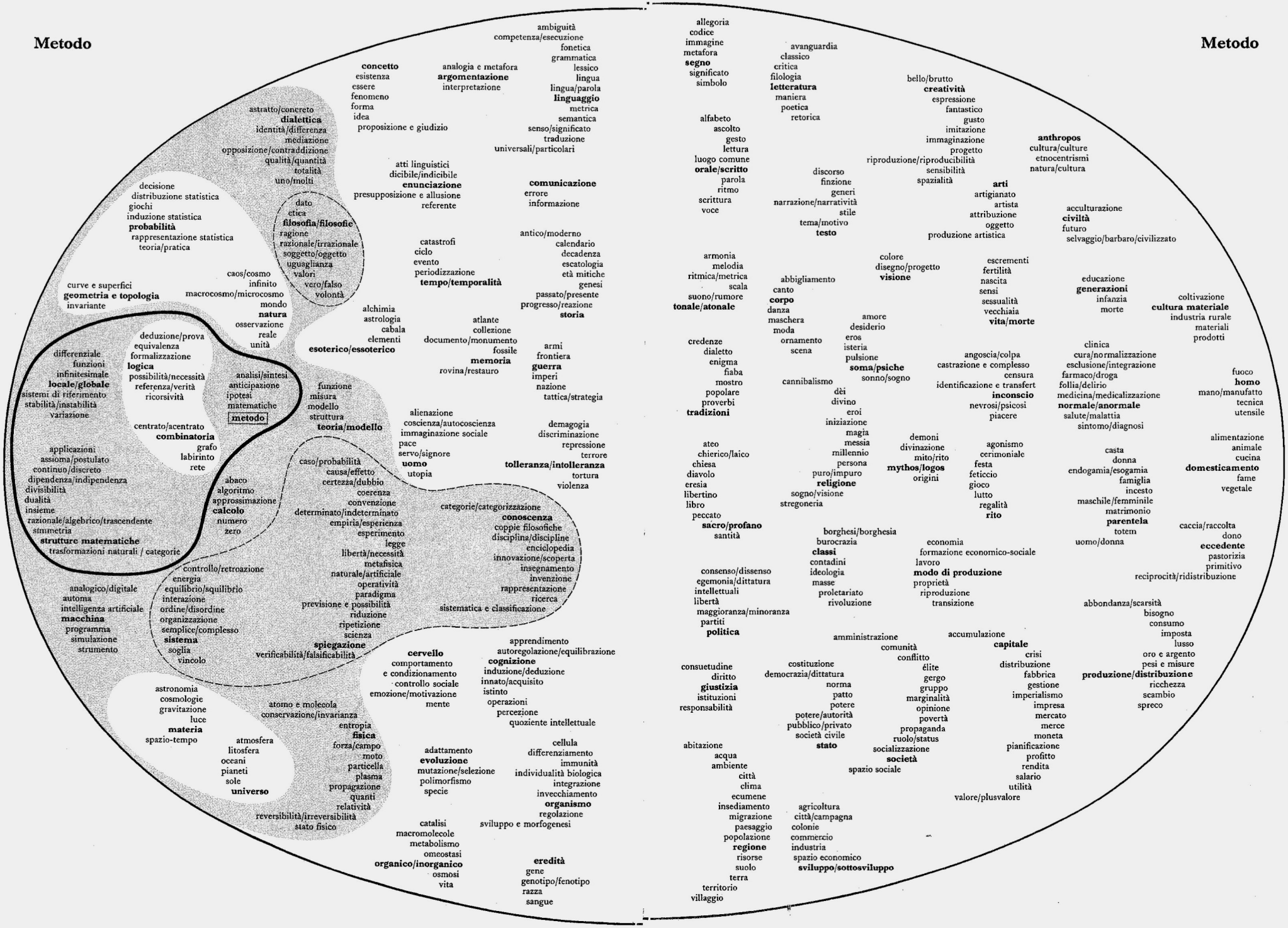
	memoria	metodo	modo di produz.	mythos/logos	natura	normale/anormale	orale/scritto	organico/inorgan.	organismo	parentela	politica	probabilità	produzione/distrib.	regione	religione	rito
analisi/sintesi	3	6	7	5	6	5	6	7	6	6	5	5	4	6	6	4
anticipazione	·	·	3	·	·	·	3	3	2	·	·	·	·	·	1	3
ipotesi	2	6	6	4	6	5	5	7	6	5	3	8	4	5	3	3
matematiche	3	6	·	2	7	·	4	3	5	·	3	7	2	4	·	·
metodo	5	6	6	4	6	6	5	5	6	4	4	7	4	6	3	3

	dialettica	domesticam.	eccedente	enunciazione	eredità	esoterico/essoter.	evoluzione	filosofia/filosofie	fisica	generazioni	geometria e topol.	giustizia	guerra	homo	inconscio	letteratura	linguaggio	locale/globale	logica	macchina	materia
analisi/sintesi	8	3	5	4	3	4	5	7	7	2	5	5	2	2	5	6	7	8	6	6	5
anticipazione	2	·	·	·	·	·	·	3	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2	·
ipotesi	6	3	4	4	5	2	4	6	8	·	5	5	3	4	4	4	7	7	5	5	7
matematiche	7	·	·	3	2	2	3	7	7	·	7	4	3	·	3	2	5	8	9	5	5
metodo	6	·	3	·	·	4	2	7	8	·	7	6	·	2	5	5	8	8	7	7	6

	sacro/profano	segno	sistema	società	soma/psiche	spiegazione	stato	storia	strutture matem.	sviluppo/sottosvil.	tempo/temporalità	teoria/modello	testo	tolleranza/intoll.	tonale/atonale	tradizioni	universo	uomo	visione	vita/morte
analisi/sintesi	5	5	6	6	6	7	5	4	7	4	6	7	7	2	6	5	4	5	3	3
anticipazione	·	·	4	3	·	·	2	·	·	·	2	2	·	2	·	·	·	4	·	·
ipotesi	6	6	7	4	5	8	3	5	6	2	5	7	3	4	4	4	7	4	4	4
matematiche	3	3	5	2	3	7	·	4	9	·	6	7	·	·	·	3	4	3	·	·
metodo	3	5	6	4	3	9	4	7	7	3	6	7	4	3	4	5	6	4	3	·

	anticipazione	ipotesi	metodo	analisi/sintesi	matematiche
anticipazione	·	5	4	2	·
ipotesi	6	·	2	·	5
metodo	·	2	·	4	5
analisi/sintesi	1	·	4	·	·
matematiche	·	1	2	1	·




ambiguità
competenza/esecuzione
fonetica
grammatica
lessico
lingua
lingua/parola
linguaggio
metrica
semantica
senso/significato
traduzione
universali/particolari
concetto
esistenza
essere
fenomeno
forma
idea
proposizione e giudizio
analogia e metafora
argomentazione
interpretazione
astratto/concreto
dialettica
identità/differenza
mediazione
opposizione/contraddizione
qualità/quantità
totalità
uno/molti
atti linguistici
dicibile/indicibile
enunciazione
presupposizione e allusione
referente
comunicazione
errore
informazione
decisione
distribuzione statistica
giochi
induzione statistica
probabilità
rappresentazione statistica
teoria/pratica
dato
etica
filosofia/filosofie
ragione
razionale/irrazionale
soggetto/oggetto
uguaglianza
valori
vero/falso
volontà
antico/moderno
calendario
decadenza
escatologia
età mitiche
genesi
passato/presente
progresso/reazione
storia
catastrofi
ciclo
evento
periodizzazione
tempo/temporalità
caos/cosmo
infinito
macrocosmo/microcosmo
mondo
natura
osservazione
reale
unità
curve e superfici
geometria e topologia
invariante
alchimia
astrologia
cabala
elementi
esoterico/essoterico
atlante
collezione
documento/monumento
fossile
memoria
rovina/restauro
armi
frontiera
guerra
imperi
nazione
tattica/strategia
deduzione/prova
equivalenza
formalizzazione
logica
possibilità/necessità
referenza/verità
ricorsività
differenziale
funzioni
infinitesimale
locale/globale
sistemi di riferimento
stabilità/instabilità
variazione
analisi/sintesi
anticipazione
ipotesi
matematiche
metodo
funzione
misura
modello
struttura
teoria/modello
alienazione
coscienza/autocoscienza
immaginazione sociale
pace
servo/signore
uomo
utopia
demagogia
discriminazione
repressione
terrore
tolleranza/intolleranza
tortura
violenza
centrato/acentrato
combinatoria
grafo
labirinto
rete
applicazioni
assioma/postulato
continuo/discreto
dipendenza/indipendenza
divisibilità
dualità
insieme
razionale/algebrico/trascendente
simmetria
strutture matematiche
trasformazioni naturali / categorie
abaco
algoritmo
approssimazione
calcolo
numero
zero
caso/probabilità
causa/effetto
certezza/dubbio
coerenza
convenzione
determinato/indeterminato
empiria/esperienza
esperimento
legge
libertà/necessità
metafisica
naturale/artificiale
operatività
paradigma
previsione e possibilità
riduzione
ripetizione
scienza
spiegazione
verificabilità/falsificabilità
categorie/categorizzazione
conoscenza
coppie filosofiche
disciplina/discipline
enciclopedia
innovazione/scoperta
insegnamento
invenzione
rappresentazione
ricerca
sistematica e classificazione
controllo/retroazione
energia
equilibrio/squilibrio
interazione
ordine/disordine
organizzazione
semplice/complesso
sistema
soglia
vincolo
analogico/digitale
automa
intelligenza artificiale
macchina
programma
simulazione
strumento
cervello
comportamento
e condizionamento
controllo sociale
emozione/motivazione
mente
apprendimento
autoregolazione/equilibrazione
cognizione
induzione/deduzione
innato/acquisito
istinto
operazioni
percezione
quoziente intellettuale
astronomia
cosmologie
gravitazione
luce
materia
spazio-tempo
atomo e molecola
conservazione/invarianza
entropia
fisica
forza/campo
moto
particella
plasma
propagazione
quanti
relatività
reversibilità/irreversibilità
stato fisico
atmosfera
litosfera
oceani
pianeti
sole
universo
adattamento
evoluzione
mutazione/selezione
polimorfismo
specie
cellula
differenziamento
immunità
individualità biologica
integrazione
invecchiamento
organismo
regolazione
sviluppo e morfogenesi
catalisi
macromolecole
metabolismo
omeostasi
organico/inorganico
osmosi
vita
eredità
gene
genotipo/fenotipo
razza
sangue
allegoria
codice
immagine
metafora
segno
significato
simbolo
avanguardia
classico
critica
filologia
letteratura
maniera
poetica
retorica
bello/brutto
creatività
espressione
fantastico
gusto
imitazione
immaginazione
progetto
riproduzione/riproducibilità
sensibilità
spazialità
anthropos
cultura/culture
etnocentrismi
natura/cultura
alfabeto
ascolto
gesto
lettura
luogo comune
orale/scritto
parola
ritmo
scrittura
voce
discorso
finzione
generi
narrazione/narratività
stile
tema/motivo
testo
arti
artigianato
artista
attribuzione
oggetto
produzione artistica
acculturazione
civiltà
futuro
selvaggio/barbaro/civilizzato
armonia
melodia
ritmica/metrica
scala
suono/rumore
tonale/atonale
colore
disegno/progetto
visione
escrementi
fertilità
nascita
sensi
sessualità
vecchiaia
vita/morte
educazione
generazioni
infanzia
morte
coltivazione
cultura materiale
industria rurale
materiali
prodotti
abbigliamento
canto
corpo
danza
maschera
moda
ornamento
scena
amore
desiderio
eros
isteria
pulsione
soma/psiche
sonno/sogno
credenze
dialetto
enigma
fiaba
mostro
popolare
proverbi
tradizioni
cannibalismo
dèi
divino
eroi
iniziazione
magia
messia
millennio
persona
puro/impuro
religione
sogno/visione
stregoneria
angoscia/colpa
castrazione e complesso
censura
identificazione e transfert
inconscio
nevrosi/psicosi
piacere
clinica
cura/normalizzazione
esclusione/integrazione
farmaco/droga
follia/delirio
medicina/medicalizzazione
normale/anormale
salute/malattia
sintomo/diagnosi
fuoco
homo
mano/manufatto
tecnica
utensile
ateo
chierico/laico
chiesa
diavolo
eresia
libertino
libro
peccato
sacro/profano
santità
demoni
divinazione
mito/rito
mythos/logos
origini
agonismo
cerimoniale
festa
feticcio
gioco
lutto
regalità
rito
casta
donna
endogamia/esogamia
famiglia
incesto
maschile/femminile
matrimonio
parentela
totem
uomo/donna
alimentazione
animale
cucina
domesticamento
fame
vegetale
caccia/raccolta
dono
eccedente
pastorizia
primitivo
reciprocità/ridistribuzione
borghesi/borghesia
burocrazia
classi
contadini
ideologia
masse
proletariato
rivoluzione
economia
formazione economico-sociale
lavoro
modo di produzione
proprietà
riproduzione
transizione
consenso/dissenso
egemonia/dittatura
intellettuali
libertà
maggioranza/minoranza
partiti
politica
abbondanza/scarsità
bisogno
consumo
imposta
lusso
oro e argento
pesi e misure
produzione/distribuzione
ricchezza
scambio
spreco
amministrazione
comunità
conflitto
élite
gergo
gruppo
marginalità
opinione
povertà
propaganda
ruolo/status
socializzazione
società
spazio sociale
accumulazione
capitale
crisi
distribuzione
fabbrica
gestione
imperialismo
impresa
mercato
merce
moneta
pianificazione
profitto
rendita
salario
utilità
valore/plusvalore
consuetudine
diritto
giustizia
istituzioni
responsabilità
costituzione
democrazia/dittatura
norma
patto
potere
potere/autorità
pubblico/privato
società civile
stato
abitazione
acqua
ambiente
città
clima
ecumene
insediamento
migrazione
paesaggio
popolazione
regione
risorse
suolo
terra
territorio
villaggio
agricoltura
città/campagna
colonie
commercio
industria
spazio economico
sviluppo/sottosviluppo

Metodo

Metodo

Analisi/sintesi, Anticipazione, Ipotesi, Matematiche, Metodo

1. *Premessa: le qualificazioni del termine 'metodo'.*

Usualmente si intende per ♦metodo♦ la via per la quale si procede in una ricerca, cioè quel complesso di principî, di regole e di operazioni prescelti per condurre un'indagine, risolvere un problema, raggiungere uno scopo. Questa prima descrizione non è affatto stringente: occorrono subito ulteriori qualificazioni. 1) Non si parla, per esempio, di metodo «socratico», «platonico» o anche «hegeliano» in filosofia, per indicare un particolare disegno/progetto che ha sotteso la ricerca, nella fattispecie quella rispettivamente di Socrate, di Platone o di Hegel, o comunque, le indagini promosse nel quadro di queste filosofie? 2) Si può ulteriormente determinare il termine 'metodo' in relazione all'oggetto o allo scopo della ricerca: si parla allora di metodo «fisico», «psicologico» o anche «sperimentale» e «clinico», ecc. nonché 3) in relazione al tipo di regole usate (metodo «induttivo», «deduttivo» o, magari, «dialettico»). Infine 4) si parla di «metodo» anche nella trasmissione dei contenuti del sapere, nell'articolazione delle varie modalità dell'apprendimento, persino a proposito dei loro correlati istituzionali.

In questo modo le qualificazioni del metodo 1) si imparentano alla tensione fra una tendenza unitaria e l'articolazione nella molteplicità della ricerca filosofica: filosofia/filosofie; 2) si intrecciano con la scansione disciplinare del sapere e dell'agire dell'uomo: disciplina/discipline; 3) si collocano a mezza strada fra l'ambito della logica e quello dell'indagine psicologica circa le operazioni della mente; 4) si dispiegano insieme con le forme della sistematica e classificazione delle scienze, delle tecniche, delle «arti» (nel senso piú ampio del termine) nelle modalità specifiche dell'insegnamento.

Ma con tutto ciò non si è certo definito «il Metodo». Lo si è semmai «risolto» nelle sue «componenti» che via via si inquadrano nelle «regioni» che piú sono loro proprie. Ma come esplicitarne invece l'aspetto unitario? Almeno da Platone il termine ha doppia valenza: propriamente è l'andar dietro (μετά e ὁδός) per cercare, chiamare, prendere uno, quindi, per traslato, vuol dire ricerca, investigazione, indagine, specie (ma non solo) nel contesto scientifico. Ma è anche la via (ὁδός) dell'investigazione, appunto un procedimento ordinato secondo regole; e infine (specie nel *Timeo*) è anche ciò che costituisce le premesse, i fondamenti dell'investigazione stessa. In una fase piú tarda della lingua greca, in piena cultura ellenistica, non mancherà l'accezione – generalizzante e globale – del «metodo» come complesso delle investigazioni, qualcosa che oscilla cioè tra ricerca e scienza.

2. *Conoscenza e opinione.*

Dunque non si tratta solamente di indicare le zone di frontiera, le interfacce, per cosí dire, tra i vari usi del termine 'metodo' e tra i vari «discorsi sul metodo» da una parte e i continenti della filosofia, della sistemazione – anche istituzionale – della conoscenza, della logica e della psicologia, infine dell'educazione, dall'altra. Occorrerebbe, in piú, rendere esplicito un «nucleo comune» che dovrebbe sottendere le differenti qualificazioni del metodo. Ma è ancora possibile individuare un tale nucleo di fronte all'articolata gamma di proposte in cui storicamente si è dispiegata la «metodologia»? E fra «metodologie» rivali non è spesso istituito un conflitto tanto radicale quanto (almeno) quello fra «teorie» rivali nelle piú accese controversie scientifiche? Inoltre non si può ipotizzare, se non un conflitto manifesto, almeno una tensione latente fra la metodologia professata da un ricercatore e il metodo (se ve ne è uno, se ve ne è *solo* uno) seguito di fatto? Non si può infine scoprire «metodicamente» che il metodo è un impiccio? Che la migliore azione metodica è quella *senza* (o *contro*) il metodo?

Le grandi scuole filosofiche hanno per secoli insistito sulla distinzione fra «conoscenza dimostrata» e semplice «opinione», fra ἐπιστήμη e δόξα. Solo della ἐπιστήμη si dà crescita: cosí è, ad esempio, sia per Platone sia per Aristotele: parlare di crescita dell'opinione pare invece, almeno a prima vista, un assurdo, poiché delle opinioni si dà solo uno scontro perpetuo, quello «stato di anarchia» contro cui ancora Kant nelle tre «critiche» metteva in guardia.

Secoli prima dell'«anarchismo epistemologico» propugnato da Paul Feyerabend nel suo *Against Method* (1970, 1975), le lotte dei «dogmatici» tra di loro e le incursioni di scettici e relativisti dovevano trasformare la coppia ἐπιστήμη/δόξα da una contrapposizione rigida ai poli estremi di un *continuum* pieno di gradazioni e sfumature. E di differenze. Per alcuni vera conoscenza si ha solo di Dio, perché il Signore stesso si è compiaciuto di svelarci la verità attraverso la sua Parola; per altri solo il mondo umano è davvero conoscibile dall'uomo, perché l'uomo ne è l'Autore, mentre i segreti della Natura sono destinati per sempre a rimanere tali; per altri invece possiamo conoscere almeno la logica, la matematica e quello che sperimentiamo direttamente nel mondo sublunare; per altri ancora «la forza delle linee», cioè la forza della matematica, permette di esprimere le «leggi della Natura», che valgono sia sopra sia sotto il cielo della Luna; e infine c'è chi ritiene che, al contrario che per il mondo fisico, non si dia legge in campo morale e religioso (nel senso di legge scientifica) e che questi domini vadano lasciati all'arbitrio della δόξα.

3. *I «modi» del metodo.*

Molta storia della «epistemologia» altro non è che la storia di questa slittante demarcazione fra ἐπιστήμη e δόξα, fra elaborazione costruttiva e discussione senza termine. Spesso la linea di demarcazione è stata iscritta nella natura dell'uomo («limitazioni dell'intelletto umano», «struttura del soggetto trascendentale», ecc.) e talvolta a δόξα si è sostituito metafisica. Di qui hanno origine i vari progetti di eliminazione o decostruzione o superamento della metafisica, vista ancora come «l'anarchia» in cui la discussione delle opinioni non può venir risolta per alcuna via: cosí Kant, quando con le sue «antinomie» ha condannato alla disputa «senza esito» le metafisiche «dogmatiche»; cosí Comte, quando ha scorto nella metafisica solo una attenuazione della visione «teologica» del mondo, destinata ad essere smantellata, man mano che ogni disciplina raggiunge la maturità; cosí gli empiristi logici, quando hanno voluto delimitare la «cittadella scientifica» con criteri di significanza per gli enunciati cosí forti nel relegare la metafisica nel balbettio sprovvisto di significato.

Sembra quindi che l'emergere del metodo sia sotteso da tutto un intreccio di problemi: quali procedure dovrebbero seguire i ricercatori nell'indagine delle situazioni che destano in loro preoccupazione e/o interesse? Quali condizioni devono essere soddisfatte affinché i loro risultati siano corretti? Quale status attribuire alle «leggi» scientifiche?

Una buona via per caratterizzare il metodo è forse cogliere quelli che sono i tratti ricorrenti nelle differenti risposte che scienziati e filosofi hanno dato e continuano a dare a queste domande. Per esempio: Descartes nel *Discours de la méthode* (1637) individua, com'è noto, quattro regole per «orientare dei ragionamenti»: accettare solo l'evidenza, scomporre la difficoltà, procedere dal semplice al complesso, fare delle ricognizioni esaustive. Queste quattro regole sono in grado di decostruire opinioni accettate in base al principio di autorità e di aggirare le difficoltà frapposte dai pregiudizi, ma non bastano ancora per determinare i contenuti specifici di una ricerca. Almeno apparentemente: perché se le si paragona, per esempio alle procedure con cui nella *Géométrie* (uno dei tre saggi scientifici che, nell'edizione originale, seguono il *Discours*) si affrontano problemi matematici mediante la posizione e la soluzione di un sistema di equazioni, le «regole del metodo» non sono altro che la trasposizione generalizzata di tali procedure. Si deve dunque concludere che la metodologia cartesiana è semplicemente una elaborazione pressoché sovraimposta all'effettiva ricerca scientifica? O, all'inverso, che i risultati costituenti «l'involucro matematico» delle «regole» siano da queste «fondati» o «giustificati?» Non è infine possibile pensare che investigazione e metodologia si siano sviluppate in Descartes sostenendosi reciprocamente: fornendo una l'esempio e l'altra gli standard, chiarendosi gli standard sull'esempio e articolandosi quest'ultimo in modo da conformarsi ulteriormente agli standard medesimi?

Un metodo e le sue regole possono venir intesi come quel complesso di condizioni e di vincoli che instradano la definizione e lo studio di proprietà degli enti su cui si appunta la ricerca. Cosí è stato, appunto, con Descartes, a cominciare dalla sua «geometria» che ha potentemente ampliato l'ontologia (matematica) ammessa dalla tradizione classica: cosí è stato per Galileo, nella sua difesa del punto di vista copernicano contro «la fabbrica dei cieli» tolemaica e nella costituzione di una scienza della meccanica fondata contro gli aristotelici

sulla base di una sistematica modellizzazione matematica dei fenomeni di movimento-mutamento; cosí è stato, infine, per la grande sintesi newtoniana di fisica celeste e terrestre operata nei *Principia*, ecc. Non tutti i ricercatori citati hanno scritto qualcosa come un *tractatus de methodo*: lo ha fatto Descartes, ma non, per esempio, Galileo; Newton si è limitato alle *Regulae philosophandi* inserite nel libro III dei *Principia*. Ma si tratti di considerazioni frammentarie sparse o di trattazione metodologica sistematica, in tutti i casi citati con il richiamo a «regole del filosofare» venivano rimosse quelle costellazioni di idee che alla luce di tali regole risultano semplici ostacoli all'innovazione intellettuale.

Perché questa rimozione abbia un buon esito, promessa euristica, stabilità, economia di pensiero e procedura gradualistica sembrano caratteri indispensabili. Questi sono, per cosí dire, *i modi del metodo*. Se si esaminano le enunciazioni «metodologiche» di Descartes sia nel *Discours* sia nelle *Regulae ad directionem ingenii* (1628) il metodo pare allora caratterizzato dalla presenza di «regole» la cui scrupolosa osservanza sembra garantire 1) l'ottenimento del fine desiderato (promessa euristica); 2) un notevole risparmio di forze, in quanto cosí facendo si domina l'aleatorio e non si è da esso dominati (economia); 3) il contenimento degli effetti dannosi degli errori di piú vario tipo ed origine nel corso della ricerca (stabilità); 4) e tutto ciò mediante un procedere a un tempo cumulativo ed esaustivo (gradualismo). Non è difficile ritrovare questi quattro aspetti – seppur con qualche modificazione non trascurabile – nella precettistica di Leibniz o nelle *Regulae philosophandi* di Newton, anche se entrambi questi autori – seppur per differenti ragioni – non hanno risparmiato critiche alla metodologia cartesiana. D'altra parte i tratti generali che si sono fin qui enucleati, lungi dal determinare un metodo in modo univoco (sono infatti compatibili con famiglie assai differenti di regole) non sono nemmeno tipici della ricerca scientifica in senso stretto. Potrebbero, invece, essere assunti come tratti dell'azione metodica in generale: ma proprio per questa loro natura astratta già permettono una prima «ricomposizione» del metodo nei suoi legami con tutte le attività di *problem solving* che spaziano dalla progettazione cioè di una teoria/modello dei processi reali all'articolazione delle decisioni nel comportamento razionale.

4. *Proliferazione e selezione delle ipotesi.*

Ma si ritorni ora alla congiunzione di metodo e di impresa scientifica. Nel pensiero greco quel che si dice ◆ipotesi◆ è usualmente la premessa di un ragionamento, di solito non controllata direttamente: il suo carattere fallibile motivava dunque, al tempo loro, la messa in guardia da parte sia di Platone sia di Aristotele. Ancora nelle prime riflessioni della filosofia moderna circa l'indagine della Natura – per esempio in Locke – le ipotesi dovevano indicare le cause presunte dei fenomeni: *presunte*, dunque congetturali, per quanto ampia fosse la base di osservazione e rigorosi i controlli.

Cosa garantisce allora il ricercatore contro l'arbitrio metafisico che inevitabilmente si annida nella proliferazione delle ipotesi? Proprio le regole del metodo. Per esempio le newtoniane *regulae philosophandi*, che mirano a ridurre il numero delle cause presunte. Ma l'insistenza – presente già nel Settecento in non pochi newtoniani (ancor prima delle analisi di Hume e di Kant) – sulla necessità di bruschi cambiamenti, di «rivoluzioni scientifiche», una insistenza del resto ampiamente motivata dalla stessa pratica della ricerca, ha via via condotto a una maggior articolazione nel controllo delle ipotesi. Nell'Ottocento, per John Mill come per William Whewell come per Charles Sanders Peirce, l'ipotesi già coincide con il momento «inventivo». Ma è allora possibile un metodo che fa di questo processo di innovazione/scoperta un procedimento 1) regolato, 2) economico, 3) stabile, 4) cumulativo ed esaustivo?

Non si può chiedere qualcosa *di piú*? Che, per esempio, si possa dare un codice della ricerca che renda il procedimento metodico pressoché analogo a quello di un automa, producendo un algoritmo per la scoperta scientifica analogo a quello che individua soluzioni di certi problemi di computazione? (Sarà questa, a una certa fase dell'evoluzione del suo pensiero, la mossa di Leibniz). O *di meno*? Che si abbia cioè una mera «strategia», in cui certune delle richieste cartesiane (per esempio la quarta) possono venire (almeno parzialmente) abbandonate, ma in cui sia assente il carattere deterministico e meccanico tipico dell'algoritmo? (Sarà questo l'atteggiamento – in sostanza – dello stesso Newton e di molti altri suoi seguaci: il «buon newtoniano» non pretende con le proprie congetture – del resto «ben radicate» nei fenomeni, cioè nell'esperienza – di cogliere l'essenza dei processi reali: *hypotheses non fingo*).

La contrapposizione «algoritmo o strategia» indica anche qui due poli di un *continuum* di soluzioni intermedie. Va comunque segnalata la tendenza, sempre piú marcata nella filosofia della scienza contemporanea, ad escludere la possibilità di un algoritmo per le nuove idee. Anche chi ammette ancora qualche «regola di scoperta» pare limitarsi a formulazioni molto piú lasche... Per molti infine è pressoché impossibile imporre regole alla «creatività». L'immaginazione, anche «l'immaginazione scientifica» è tipicamente senza regole...

Pure occorre – nella pratica scientifica come nella vita quotidiana – saper distinguere ipotesi piú o meno «buone», «utili», «feconde», ecc. altrimenti «qualsiasi cosa può andar bene». È il ruolo selettivo del metodo. Le ipotesi vanno sempre sottoposte a controllo. Ma perché non compiere un passo ulteriore? Non le modalità dell'invenzione o della scoperta interessano il metodo, ma *solo* quelle del controllo. È (solo) il «contesto della giustificazione» delle ipotesi e non quello della loro «scoperta» – hanno insistito Reichenbach e Carnap e con loro gran parte degli empiristi logici – che può riguardare il metodo; e la stessa *Logik der Forschung* (1935) o *Logic of Scientific Discovery* (1959) di Karl Popper, che empirista non è, è una *logic of tests*, in quanto riguarda la «ricostruzione razionale» dei controlli: una ben strana logica *della scoperta*, che esplicitamente sostiene che della scoperta in quanto tale non si dà affatto «logica».

5. *I fatti «nuovi».*

Questo ulteriore slittamento di un termine come ♦metodo♦ è di notevole importanza: metodo era, per Archimede, nella lettera ad Eratostene (pubblicata da Heiberg solo nel 1907) la via per scoprire nuovi risultati – attraverso quelle considerazioni meccaniche che anticipavano gli indivisibili di Cavalieri e di Torricelli – risultati che andavano giustificati poi per altra via (col rigoroso «metodo di esaustione» di Eudosso); «metodo degli indivisibili» era detta da Cavalieri, Torricelli e dai loro seguaci, e ancora da Wallis, la scomposizione di un *continuum* negli «indivisibili» che lo costituivano allo scopo di calcolare aree e volumi, quando costoro (ignari della lettera ad Eratostene) favoleggiavano di una «fucina segreta di Archimede»; *nova methodus* per i problemi della geometria era battezzato da Leibniz il calcolo differenziale e integrale all'atto della sua fondazione in chiave di quantità «infinitesimali»; e «metodo delle flussioni e delle fluenti» era chiamata la versione newtoniana del calcolo che Jurin e Walton, Bayes e Maclaurin difendevano dai sarcasmi del vescovo Berkeley... Circa tre secoli dopo, Rudolf Carnap in un celebre passo dei suoi *Pseudoproblemi della filosofia* (*Scheinprobleme in der Philosophie*, 1928) relegherà tutto ciò nel campo del prescientifico se non dello pseudoscientifico. Quello che importa è solo il controllo, attraverso l'esperimento nel caso di scienze empiriche, attraverso la dimostrazione nel caso di discipline matematiche.

Abbandonata a una sorta di «intuizione quasi bergsoniana» (sono parole di Popper) la ricerca di (nuove) ipotesi, è la selezione delle ipotesi mediante procedure «razionali» che balza in primo piano. Si tralasci, per un attimo, il caso delle ♦matematiche♦ (vi si tornerà nel § 6) e ci si limiti alle scienze empiriche. Si è già detto (§ 4) in che senso le ipotesi vengono avanzate per «spiegare» i fatti: di conseguenza l'insuccesso predittivo infirmerà un'ipotesi, il successo invece la corroborerà. Ma va aggiunto che, anche se sono possibili ipotesi che si limitano semplicemente a «salvare le apparenze» si dànno anche ipotesi che «anticipano» fatti nuovi. Proprio perché predisse un'eclisse (inaspettata) Talete divenne uno dei sette savi! Descartes e Leibniz come Whewell e Popper hanno fatto delle ♦anticipazioni♦ di fatti inattesi il tratto caratteristico della scienza «non stagnante»...

Questa richiesta a un tempo ingloba una tipica esigenza dell'empirismo e ne comporta una critica radicale. Per la tradizione empiristica, l'anticipazione dei risultati delle esperienze future va combinata con la neutralità di tali risultati rispetto all'osservatore contingente e alle sue idiosincrasie. Il timore dei preconcetti (gli *idola* baconiani) spingeva gli empiristi a insistere sulla necessità di liberarsi – con un'adeguata terapia intellettuale – di ogni teoria prestabilita: proprio la loro concezione dell'«occhio innocente» che registra *hard facts* 'fatti nudi e crudi', poneva dunque l'enfasi piú sulla ripetizione che sull'anticipazione (si ricordino le raccomandazioni di «prudenza» rivolte da Bacone a ogni ricercatore disinteressato). La messa in questione dell'induzione da parte di Hume ha non solo risvegliato Kant dal suo «sonno dogmatico», ma ha aperto

la strada a varie filosofie di tipo convenzionalista, a varie dottrine del «come se» nonché... alla stessa radicale critica dell'induzione (e con essa dell'empirismo) con cui si apre la *Logik* popperiana.

Infine: è possibile davvero operare una selezione nella ridda delle ipotesi concorrenti mediante l'anticipazione di fatti nuovi? Dipende: che una ipotesi permetta di prevedere almeno un fatto nuovo mentre un'altra si limita a salvare le apparenze non è segno della verità della prima e della (eventuale) falsità della seconda. Il logico qui darebbe ragione all'empirista piú prudente. Ma in qualche senso v'è una certa eccellenza della prima ipotesi sulla seconda: la prima ha, per cosí dire, un eccesso di contenuto e, in piú, tale eccesso di contenuto viene sperimentalmente «confermato»... Perché non fare il passo ulteriore, e soggiungere che solo i successi predittivi (cioè le anticipazioni riuscite di fatti) contano davvero nei controlli? L'anticipazione può operare allora come selettore di ♦ipotesi♦ solo abbandonando l'ideale «giustificazionista» della nostra conoscenza come certa e definitiva.

Ma allora tutto sfuma in un gioco di opinioni, in cui alcune credenze spiccano sulle altre per la loro maggior capacità di sopravvivere al fuoco della critica? Questa versione drastica può essere temperata osservando che la stessa formulazione delle leggi della Natura, seppur piú ipotetica, seppure proceda *via* sostituzione di un'ipotesi con un'altra piú informativa nel senso piú sopra chiarito, è articolata in un *calcolo*, talora alquanto sofisticato e complesso, che permette un controllo e, nel caso del successo, un consenso che va ben al di là delle credenze, dei gusti soggettivi, delle idiosincrasie del singolo ricercatore. La conoscenza resta «pubblica» anche se l'indagine dell'effettiva pratica scientifica, condotta con lo stesso sguardo spassionato dell'antropologo che osserva una qualsiasi comunità dedita alle proprie attività di base, può svelare l'entità di quella dimensione «tacita» o «inespressa» che accompagna le attività scientifiche anche piú di routine e di cui non sempre (anzi, quasi mai) i ricercatori sono immediatamente consapevoli. E per quanto riguarda la concezione «fallibilista» dell'impresa scientifica, che pone l'accento non sulla «giustificazione» dei risultati, ma sul loro carattere perpetuamente rivedibile, è bene ricordare che – sia per le ♦matematiche♦ sia per le scienze empiriche le «prove» di un'♦ipotesi♦ non vanno intese come «cristalline dimostrazioni» ma come argomentazioni a favore della sua, piú o meno temporanea, accettabilità.

6. *Le matematiche e il cambiamento concettuale.*

Tradizionalmente considerate il prototipo del sapere certo e definitivo, le ♦matematiche♦ non sembrano essere escluse dallo stesso tipo di vicissitudini che conosce la scienza empirica (tant'è vero che lo storico Morris Kline ha parlato proprio della crescita della matematica, almeno da Euclide – se non da Pitagora – in poi, come di una progressiva «perdita della certezza»!) Oltre ai casi richiamati all'inizio del paragrafo 5 un'ampia gamma di studi storici è a disposizione per questo ultimo punto di vista (dai lavori di Szabó sulla

geometria greca a quelli di Pólya su aritmetica e geometria o alla «ricostruzione razionale» data da Lakatos delle vicende della topologia e dell'analisi...) Qui la «dimostrazione» (nel senso specifico della pratica matematica) rappresenta il modo privilegiato del controllo: ma proprio l'esame di tale pratica mostra – come hanno osservato, ben prima dei filosofi della scienza, i matematici stessi (da Poincaré a Lebesgue, da Denjoy a Dieudonné, ecc.) – che man mano che le concettualizzazioni si sviluppano ciò che prima sembrava evidente *o* semplice si trova dissociato e l'ampliamento stesso dei modi considerati «leciti» di «costruzione» degli oggetti matematici conduce a introdurre «mostri» la cui esistenza rivela la ristrettezza degli abituali quadri concettuali.

Com'è dunque oggetto del metodo nelle scienze empiriche il controllo sperimentale, sarà ora oggetto del metodo la dimostrazione stessa: e come un elemento convenzionale è inevitabilmente presente nell'esperimento *lato sensu* fisico cosí lo sarà in quel particolare «esperimento mentale» che è la dimostrazione matematica... E, infine, come sono possibili delle rivoluzioni intellettuali che comportano dei profondi rivolgimenti negli standard concernenti il controllo empirico, cosí sono possibili rivoluzioni che comportano mutamenti negli standard relativi alla «dimostrazione» nelle matematiche.

Dunque anche le matematiche conoscono l'interazione del metodo, delle ipotesi e dell'anticipazione. È tale interazione che, per cosí dire, «tiene insieme» l'articolazione interna delle matematiche; la rigorizzazione dei suoi procedimenti; le investigazioni circa lo status dei suoi enti; la questione dei suoi fondamenti; la stessa sua capacità nell'articolare ipotesi in senso lato fisiche.

7. *Le euristiche.*

Proprio col riferimento a un'altra fondamentale metodologia, quella di Leibniz, sarà infine possibile mostrare come la questione del ◆metodo◆ non sia cresciuta in modo per cosí dire parassitario *sopra* la pratica scientifica ma si sia invece sviluppata *entro* di essa (cfr. § 3). In Leibniz è del resto proprio la filosofia dell'identità e delle differenze che sottende la creazione del calcolo differenziale e integrale, come la sua convinzione che fa parte della matematica tutto ciò che può essere immaginato in quanto chiaramente concepito è l'idea guida della *analysis situs* (o topologia). In questo contesto è allora immediato il riferimento a quella gamma di concettualizzazioni adombrate dalla coppia ◆analisi/sintesi◆. Nella tradizione, l'analisi è il procedimento che risale dalle conseguenze ai principî, la sintesi quello che discende dai principî alle loro conseguenze.

Senza pretesa di completezza alcuna, varrà qui la pena di sottolineare almeno tre punti: 1) la preminenza accordata nella tradizione che va da Leibniz fino ai grandi matematici creativi del Settecento verso l'analisi, contrapposta al «cieco» presupporre della sintesi; 2) l'analogia – sempre piú istituitasi con l'Ottocento – fra la scomposizione di una dimostrazione nelle sue componenti essenziali, quindi nei principî su cui essa si regge e quella di un controllo empirico nelle teorie «di sfondo» su cui si basa; 3) la progressiva consapevolezza

– al centro oggi di non poche indagini metodologiche – che questo tipo di «regresso» consente la messa in luce delle «premesse nascoste» implicite in un'argomentazione «plausibile» sia nel campo delle matematiche sia in quello delle scienze empiriche (e perché non in altri domini, per esempio nell'etica e nella metafisica?) Tre punti su cui è bene riflettere: perché rivalutano la portata euristica del metodo e ripropongono – portando per cosí dire alla luce quel che è «sommerso» (cfr. nel § 6 l'allusione alla «dimensione tacita») – il metodo come *ars inveniendi* attraverso la «logica dei controlli», e questo contro la distinzione rigida (cfr. § 4) fra «contesto della scoperta» e «contesto della giustificazione».

8. *Il metodo «senza qualità».*

Della rilevanza del metodo infine non sono tanto prova le piú o meno riuscite apologie del metodo che di tanto in tanto i filosofi della scienza propongono, quanto invece che «contro il metodo» si scriva. (Il caso di Paul Feyerabend e del suo anarchismo metodologico – che peraltro prende non pochi spunti da Wittgenstein e da Popper, ma non solo – è tipico: se le mosse piú ardite degli scienziati – di Galileo come di Niels Bohr – si realizzano violando delle regole, è pur necessario che le regole ci siano se devono poter essere infrante). Certo la «metodologia» come semplice «codice d'onore» del ricercatore scientifico può sembrare poco attraente per chi pratica la ricerca. Tuttavia il «relativista sofisticato» (l'espressione è di Feyerabend) ha a suo favore il fatto che proprio la ricognizione della storia della scienza mostra una tale pluralità di criteri, standard, ideali da rendere pressoché impossibile ricondurre tale molteplicità sotto un'unica metodologia, anche se notevolmente flessibile e articolata. (A meno di non renderla articolata e flessibile al punto tale da inglobare tutto a priori; ma quale sarebbe mai l'utilità di una metodologia del genere?) Tuttavia si può obiettare che *un* metodo garantisce proprio la continuità nelle varie costruzioni intellettuali in cui via via si articola l'euristica di una ricerca: sotto questo profilo tali versioni non sono semplici atti creativi a-razionali, anche se sembra abbastanza azzardato sostenere che ci sia *un unico* metodo che possa valutare *qualsiasi* versione specifica di *qualsiasi* programma. Un ◆metodo◆ – cosí come è stato qui caratterizzato – è allora una componente interna a un programma: esso permette la realizzazione di certi specifici risultati e da questi risultati trae a sua volta prestigio. È una specie di circolo e si tratta (nei programmi che hanno successo) di un circolo «virtuoso», non «vizioso». Il metodo è allora un po' come «l'uomo senza qualità» di Musil: si trova di fronte al difficile compito di dover tracciare confini tra quel che è «nuovo» e quel che è solo una «distorsione» del vecchio. La riuscita in questo compito significa spesso la reinterpretazione delle dottrine del passato e quindi l'estensione del metodo in un campo che non era quello per cui era nato. È qui – quando cioè il programma in cui è incorporato realizza una grande «sintesi» (com'è stato per esempio, con Newton, o con Einstein o con Bohr) – che un metodo trova il banco di prova per la sua pretesa alla universalità. [G. G.].

Agassi, J.
1975 *Science in Flux*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XXVIII, Reidel, Dordrecht-Boston.

Agazzi, E.
1974 *Temi e problemi di filosofia della fisica*, Abete, Roma.
1976 (a cura di) *Il concetto di progresso nella scienza*, Feltrinelli, Milano.

Amsterdamski, S.
1975 *Between Experience and Metaphysics*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XXXV, Reidel, Dordrecht-Boston.

Antiseri, D.
1981 *Teoria unificata del metodo*, Liviana, Padova.

Barone, F.
1977 *Il neopositivismo logico*, Laterza, Bari 1977[2].

Bloor, D. C.
1976 *Knowledge and Social Imaginery*, Routledge and Kegan Paul, London.

Bochner, S.
1966 *The Role of Mathematics in the Rise of Science*, Princeton University Press, Princeton N.J.

Buck, R. C., e Cohen, R. S.
1971 (a cura di) *In Memory of Rudolf Carnap*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. VIII, Reidel, Dordrecht-Boston.

Bunge, M. A.
1964 (a cura di) *The Critical Approach to Science and Philosophy. Essays in Honour of Karl R. Popper*, Free Press, Glencoe Ill.

Cohen, R. S., e Wartofsky, M. W.
1965 (a cura di) *In Honor of Philip Frank*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. II, Humanities Press, New York.
1974 (a cura di) *Methodological and Historical Essays in the Natural and Social Sciences*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XIV, Reidel, Dordrecht-Boston.

Cohen, R. S.; Feyerabend, P. K.; e Wartofsky, M. W.
1976 (a cura di) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XXXIX, Reidel, Dordrecht-Boston.

Dalla Chiara, M. L.
1980 (a cura di) *Italian Studies in the Philosophy of Science*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XLVII, Reidel, Dordrecht-Boston.

Davis, Ph. J., e Hersch, R.
1981 *Mathematical Experience*, Birkhauser, Boston.

Dieudonné, J., e altri
1978 *Abrégé d'histoire des mathématiques (1700-1900)*, Hermann, Paris.

Elkana, Y.
1974 (a cura di) *The Interaction between Science and Philosophy*, Humanities Press, New York.

Feigl, H., e Maxwell, G. E.
1962 (a cura di) *Scientific Explanation, Space and Time*, in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Feyerabend, P. K.
1975 *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, New Left Books, London (trad. it. Feltrinelli, Milano 1979[2]).

Geymonat, L.
1960 *Filosofia e filosofia della scienza*, Feltrinelli, Milano.

Granger, G.-G.
1968 *Essai d'une philosophie du style*, Colin, Paris.

Grmek, M. D.; Cohen, R. S.; e Cimino, G.
1980 (a cura di) *On Scientific Discovery*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. XXXIV, Reidel, Dordrecht-Boston.

Hanson, N. R.
1958 *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, London (trad. it. Feltrinelli, Milano 1978).

Hempel, C. G.
1965 *Aspects of Scientific Explanation*, Free Press, New York.

Howson, C.
1976 (a cura di) *Method and Appraisal in Physical Sciences: the Critical Background to Modern Science, 1800-1905*, Cambridge University Press, New York (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1981).

Kline, M.
1980 *Mathematics. The Loss of Certainty*, Oxford University Press, New York.

Kordig, C. R.
1971 *The Justification of Scientific Change*, Reidel, Dordrecht-Boston (trad. it. Armando, Roma 1982).

Kuhn, Th. S.
1962 *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago 1970[2] (trad. it. Einaudi, Torino 1978[4]).
1977 *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, Chicago.

Lakatos, I.
[1961-74*a*] *Philosophical Papers*, Cambridge University Press, London 1977.
[1961-74*b*] *Proofs and Refutations. The Logic of Mathematical Discovery*, Cambridge University Press, London 1976 (trad. it. Feltrinelli, Milano 1979).
[1965] (a cura di) *International Colloquium in the Philosophy of Science. Bedford College, 1965. The Problem of Inductive Logic*, North-Holland, Amsterdam 1968.
1967 (a cura di) *Problems in the Philosophy of Mathematics*, North-Holland, Amsterdam.

Lakatos, I., e Musgrave, A. M.
1968 (a cura di) *Problems in the Philosophy of Science*, North-Holland, Amsterdam.
1970 (a cura di) *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, London (trad. it. Feltrinelli, Milano 1976).

Latsis, S. J.
1976 (a cura di) *Method and Appraisal in Economics*, Cambridge University Press, New York.

Laudan, L.
1972 *Progress and Its Problems: toward a Theory of Scientific Growth*, University of California Press, Berkeley Cal. (trad. it. Armando, Roma 1979).

Le Lionnais, F.
1948 (a cura di) *Les grands courants de la pensée mathématique*, Cahiers du Sud, Marseille; nuova ed. Blanchard, Paris 1962.

Malherbe, J.-F.
1976 *La philosophie de Karl Popper et le positivisme logique*, Presses Universitaires de France, Paris.

Nagel, E.
1961 *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Harcourt, Brace and World, New York (trad. it. Feltrinelli, Milano 1968).

Newton-Smith, W. H.
1981 *The Rationality of Science*, Routledge and Kegan Paul, London.

Nickles, Th.
1980*a* (a cura di) *Scientific Discovery, Logic and Rationality*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. LVI, Reidel, Dordrecht-Boston.
1980*b* (a cura di) *Scientific Discovery. Case Studies, ibid.*, vol. LX, Reidel, Dordrecht-Boston.

Pera, M.
1982 *Apologia del metodo*, Laterza, Bari.

Polanyi, M.
1958 *Personal Knowledge; towards a Post-Critical Philosophy*, Routledge and Kegan Paul, London.

Pólya, G.
1954 *Mathematics and Plausible Reasoning*, Oxford University Press, London.
1962-65 *Mathematical Discovery*, 2 voll., Wiley, New York (trad. it. Feltrinelli, Milano 1970-71).

Popper, K. R.
1959 *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London (trad. it. Einaudi, Torino 1970).
1969 *Conjectures and Refutations, the Growth of Scientific Knowledge*, Routledge and Kegan Paul, London 1969[3] (trad. it. Il Mulino, Bologna 1972).
1972 *Objective Knowledge, an Evolutionary Approach*, Clarendon Press, Oxford (trad. it. Armando, Roma 1975).
1982 *Postscript to the Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London.

Putnam, H.
1975 *Philosophical Papers*, Cambridge University Press, London.
1978 *Meaning and the Moral Sciences*, Routledge and Kegan Paul, London (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1982).

Quine, W. van Orman
1966 *The Ways of Paradox and Other Essays*, Random House, New York (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1975).

Radnitzky, G.
1979 *Limits and Presuppositions of Science*, Reidel, Dordrecht-Boston.

Radnitzky, G., e Andersson, G.
1978 (a cura di) *Progress and Rationality in Science*, in *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. LVIII, Reidel, Dordrecht-Boston.

Rossi, P.
1977 *Immagini della scienza*, Editori Riuniti, Roma.

Scheffler, I.
1963 *The Anatomy of Inquiry; Philosophical Studies in the Theory of Science*, Knopf, New York (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1972).

Schilpp, P. A.
1963 (a cura di) *The Philosophy of Rudolf Carnap*, Open Court, La Salle Ill. (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1974).
1974 (a cura di) *The Philosophy of Karl Popper*, Open Court, La Salle Ill. (trad. it. parziale Armando, Roma 1976).

Szabó, A.
1969 *Anfänge der griechischen Mathematik*, Akadémiai Kiádo, Budapest.

Analisi/sintesi

I termini 'analisi' e 'sintesi' richiamano subito alla mente da un lato certe pratiche metodologiche in opere come quelle di Platone, Descartes, Newton, Kant, Hegel e altri, e dall'altro certe tecniche in campi disparati come chimica e logica, matematica e psicologia. L'ampiezza dello spettro di associazioni fa sí che ci rendiamo conto del fatto che alla base di questi due termini collegati, spesso «accoppiati», si trova una specifica coppia metodologica tema-antitema ($\theta\bar{\theta}$). Di fatto, come si vedrà, si tratta di una delle coppie piú diffuse e fondamentali, nella scienza e altrove [Holton 1973, capp. I-IV; e 1975].

Il nostro obiettivo consiste nello scoprire e identificare questo contenuto tematico, chiarendo strada facendo anche i significati e gli usi dei termini 'analisi' e 'sintesi', e in particolare tentando di distinguere tra quattro significati generali, ossia: *a*) analisi/sintesi, e in special modo sintesi, usato nel senso *culturale*; *b*) analisi/sintesi impiegato nel senso *ricostituzionale* (ad esempio quando un'analisi, seguita da una sintesi, ristabilisce la condizione originaria); *c*) analisi/sintesi usato nel senso *trasformazionale* (ad esempio quando l'applicazione di analisi/sintesi ci porta a un livello qualitativamente nuovo); e *d*) analisi/sintesi usato nel senso *judgemental*, cioè nel senso della teoria del giudizio (come nelle categorie kantiane e nelle loro critiche moderne).

1. *Analisi/sintesi nel senso «culturale».*

Ai primi posti nella lista dei prodotti dell'ingegno tradizionalmente definiti come i migliori nella nostra cultura, si annoverano opere grandiose, sinottiche e unificanti che di solito si assumono come «sintesi» del pensiero di un dato periodo o di una data disciplina. Ci si riferisce a trattati filosofici e teologici come quelli di Aristotele e san Tommaso d'Aquino, Spinoza e Kant; o alle sintesi scientifiche di Euclide, Descartes (*Principia philosophiae*), Newton (*Principia*), Darwin, Maxwell, Mendeleev, Freud, Einstein e, ai nostri giorni, i gruppi cui si deve la recente unificazione di biochimica e genetica. Anche grandi opere letterarie hanno tale carattere e intento unificante, ad esempio i poemi epici greci, Dante e Milton, Goethe e Tolstoj. Quest'ultimo, mentre deplorava nel libro V di *Guerra e pace* che non fosse ormai piú possibile una «scienza del tutto», evidentemente pensava che almeno nelle arti potesse esistere una visione sinottica della vita e del valore dell'uomo.

Con tutte le differenze di realizzazioni e di metodi, questi prodotti culturali hanno una caratteristica comune che può aiutarci a spiegare il potere che esercitano sull'immaginazione umana: la sintesi fornisce uno schema d'interpretazione e di analisi puntuali che contribuisce ad orientare il pensiero e la sensibilità verso verità importanti. Come nel cosmo aristotelico una pietra, cadendo da una certa altezza al suo posto «naturale», non segue un qualsiasi schema arbi-

trario ma uno schema necessario nell'ambito del contesto totale, cosí, quando il lettore è preso nella concezione universale esemplificata dall'opera di un san Tommaso o di un Goethe, può giungere ad un'interpretazione convincente (profonda o meno) dei particolari belli o angosciosi della propria esperienza.

Esistono anche determinati prodotti culturali di alto livello il cui intento viene considerato specificamente *analitico* piuttosto che sintetico; ad esempio, le analisi matematiche di Descartes e Fourier. Inoltre, talvolta una parte analitica può essere integrata nell'opera sintetica. Sono però da osservare due curiose asimmetrie: mentre non è difficile enumerare i lavori sintetici in un elenco di realizzazioni culturali, e benché essi pervadano ovunque da tempi remoti l'educazione e la coscienza delle persone colte, assai di rado le opere esplicitamente analitiche possiedono questo carattere. (I poeti Wordsworth e Coleridge, ad esempio, dichiararono opera di menti inferiori l'attività analitica degli scienziati sperimentali).

Quando però si passa ad esaminare il concetto di analisi/sintesi dal punto di vista della prassi anziché dell'«alta cultura» (ad esempio analisi/sintesi quale si esprime nel lavoro professionale, scientifico e dotto), le posizioni dell'analisi e della sintesi sono completamente rovesciate, e la prima prevale. Un ricercatore raramente sosterrà di occuparsi di «sintesi» e, anche in tal caso, è probabile che si riferisca a una gamma ristretta di attività specifiche, ad esempio alla sintesi chimica di materiali – ammoniaca o diamanti, fibre o resine – o al test di una struttura chimica in cui l'analisi è confermata dalla sintesi. Questo almeno entro certi limiti: infatti nella sintesi di un peptide, ad esempio, il successo, per quanto riguarda le prove di purezza, l'analisi degli aminoacidi, le prove chimiche e allo spettrometro di massa, e il confronto del materiale naturale con quello sintetico, è sempre problematico e discutibile. D'altra parte, il concetto di «analisi» è presente in posizione di rilievo in un gran numero di attività. Le definizioni di analisi che si trovano nei dizionari tendono a incentrarsi sul nucleo riduzionistico o pragmatico del significato: rottura o risoluzione del complesso in elementi semplici, e determinazione di questi elementi (come in chimica: risoluzione in molecole piú semplici; in ottica: ricerca delle composizioni spettrali; in grammatica: ricerca degli elementi costitutivi di frasi o proposizioni; o in studi tematici del folclore, della musica, della letteratura o della scienza: determinazione dei temi fondamentali dai quali dipende la struttura dell'opera).

Analogamente, le manifestazioni professionali delle attività attinenti all'analisi spaziano dalla psicologia alla linguistica, dall'economia e dal mondo degli affari alla chimica, dall'ingegneria alla medicina. Per un filosofo, il compito dell'analisi è finalizzato al conseguimento di una chiarificazione concettuale. La matematica incarna uno degli usi piú diffusi e diversificati del concetto. È facile che si incontri per la prima volta il termine 'analitico' a scuola, in corsi sulla geometria analitica (o geometria delle coordinate), risalente soprattutto a René Descartes [1637], il quale riuscí a mostrare che ogni punto in una figura geometrica, o nello spazio, si può ridurre a un insieme ordinato di numeri, in seguito chiamati coordinate. (Piú in generale, il termine 'analisi' in matematica si riferisce al terzo e piú ampio settore della matematica, quello che si situa al

confine tra algebra e aritmetica da un lato e geometria e topologia dall'altro, anche se i limiti non sono netti. Esso include il calcolo differenziale e integrale, le equazioni differenziali ordinarie e quelle alle derivate parziali, il calcolo delle variazioni, le serie di Fourier, l'analisi complessa e la probabilità).

Tenendo presenti i loro fini, essenzialmente pratici, non sorprende perciò scoprire che le maggiori enciclopedie tendano a privilegiare l'analisi rispetto alla sintesi (né l'*Encyclopaedia Britannica* né il *Dictionary of the History of Ideas* hanno una voce per il termine 'sintesi'); precisamente all'opposto delle posizioni relative che sembrano doversi assegnare ai due membri della coppia come contrassegni delle grandi imprese culturali del passato. La cosa piú importante consiste dunque nel trovare le relazioni *all'interno* del binomio analisi/sintesi, onde cogliere tutto il peso di ciascuno dei suoi membri anziché lasciarsi fuorviare dalle asimmetriche valutazioni che se ne dànno nella teoria e nella prassi contemporanee – probabile conseguenza della preponderanza (e del successo) del pensiero riduzionista nella nostra epoca. Tra parentesi, è opportuno dare credito a quegli esempi di sintesi che in effetti esistono, almeno come tentativi: il tipo di pensiero «globale» di certi studiosi dell'ambiente; la spinta all'unificazione di tutte le forze fondamentali in campi quali l'attuale fisica delle particelle; e, nel settore dell'insegnamento, un certo numero d'interessanti esperimenti che vanno sotto il nome di programmi transdisciplinari, interdisciplinari, o di educazione generale. Nel contempo, si dovrebbe tenere presente che, all'insegna di «sintesi», «unificazione», od «olismo» spesso fiorisce anche un certo oscurantismo.

Le pretese delle «filosofie olistiche» erano tra i bersagli favoriti dei filosofi positivistici. Cosí, in un capitolo del suo *Positivism*, Richard von Mises scrisse [1951, p. 286]: «Non mancano motivi psicologici e ragioni opportune per l'impiego del concetto del 'tutto' in varie sfere della conoscenza. Vi scorgiamo però un caso esemplare di postulati metafisici: un concetto ausiliario, utile in molti luoghi, è stato elevato al rango di 'idea assolutamente valida', che viene poi propinata come fonte di conoscenza fondamentale».

2. *Un esempio di analisi/sintesi: la «sintesi newtoniana».*

Onde specificare le caratteristiche di una «sintesi» in termini operativi, sarà utile rifarsi a un caso storico. Nessun altro si presta maggiormente del prototipo di tutte le sintesi scientifiche coronate da successo: la cosiddetta «sintesi newtoniana», l'unificazione storica della fisica celeste e terrestre. Possiamo discernervi la forza e la debolezza della sintesi come strategia intellettuale, nonché l'interrelazione tra analisi e sintesi come parti di un metodo che consente la produzione di quell'oggetto culturale detto «sintesi».

Il significato del contributo newtoniano è piú chiaro se per prima cosa lo si situa nel contesto della storia della scienza fisica in sé e della storia del metodo della scoperta scientifica.

2.1. Le radici della sintesi newtoniana nella storia delle scienze fisiche.

Per quanto riguarda la sintesi newtoniana, queste radici risalgono all'antichità, alle due prime grandi sintesi della filosofia naturale, rispettivamente associate ai nomi di Talete e di Pitagora. La prima fu essenzialmente positivistica e materialistica, con una certa somiglianza con l'empirismo moderno; la seconda fu metafisica e formalistica, piú vicina al razionalismo. L'una faceva dell'osservazione dei tre stati di un materiale osservato (l'acqua) la chiave per comprendere il problema della persistenza e del mutamento nel mondo materiale; l'altra si fondava tipicamente sulle proprietà di numeri e figure geometriche e i suoi metodi erano strettamente associati al rituale religioso. È significativo che questi due sistemi, penetrati nella cultura occidentale pressoché contemporaneamente e mossi dalla persistente tendenza a trovare un'unità fondamentale alla base della diversità di tutta l'esperienza, fossero nondimeno diametralmente opposti nelle ipotesi e reciprocamente esclusivi nel contenuto.

Da ognuna di queste due scuole emerse nei secoli successivi una serie distinta di seguaci di rilievo. La posizione chiave di Aristotele è dovuta al fatto ch'egli è il primo grande pensatore non riconducibile per l'essenziale ad alcuna delle due correnti principali, e che pure attua un possente tentativo di adattare elementi provenienti da entrambi i sistemi antitetici in una nuova sintesi (anche se al prezzo di persistenti divisioni interne, ad esempio tra la fisica, la matematica e la metafisica). Nulla di sia pure lontanamente analogo fu realizzato con successo nella filosofia naturale sino alla riunione delle concezioni neoplatoniche e materialistiche ad opera di Keplero e Galileo, e anche allora soltanto su scala molto meno ambiziosa. Essi sono i necessari precursori di Newton, la cui sintesi dev'essere riconosciuta come l'ultimo grande collegamento tra le tradizioni materialistico-positivistica e formalistico-metafisica nella filosofia naturale.

In seguito, altri tentativi del genere furono compiuti in campi sempre piú limitati nell'ambito delle scienze pure. Cosí il tema centrale di Faraday, nelle sue ricerche sulle relazioni tra gravità ed elettricità, è la convinzione che tutte le forze della natura fossero reciprocamente dipendenti, avendo un'unica origine, o piuttosto essendo manifestazioni diverse di un solo potere fondamentale. (Pur essendo incapace di trovare la connessione tra gravità ed elettricità, come fece Einstein con analoghe ambizioni, Faraday spianò la strada a Maxwell, scoprendo la relazione e dipendenza dirette tra luce e campi magnetici ed elettrici). Successive realizzazioni lungo la stessa linea furono la concezione di Mayer dei fenomeni naturali come espressione di una legge di conservazione dell'energia; l'unione da parte di Maxwell dei fenomeni di elettricità, magnetismo, ottica e calore radiante nella teoria dell'elettromagnetismo; e l'attività di Einstein, che risolse il conflitto tra le concezioni elettromagnetica e meccanicistica e scoprí continuità tra idee precedentemente separate, quali spazio e tempo, massa ed energia.

2.2. Le radici della sintesi newtoniana nella storia dei metodi della scoperta scientifica.

Il secondo presupposto per apprezzare l'influsso della sintesi newtoniana sul pensiero moderno riguarda la storia dei metodi della scoperta scientifica. A questo proposito è significativo il fatto che ancora ai nostri giorni la maggior parte degli scienziati che si sono ispirati al punto di vista newtoniano concordino in linea di massima sulla sua applicabilità anche al loro lavoro e ne riconoscano gli elementi principali in quello che spesso viene definito metodo ipotetico-deduttivo, al centro del quale si situano appunto l'analisi e la sintesi.

Nel senso usato nelle opere scientifiche a partire dall'inizio del XVII secolo, analisi e sintesi si riferiscono a parti di un processo trasformazionale di ragionamento che rinvia alla discussione platonica [ad esempio, *Repubblica*, 509-11 e 533-34], e che in seguito prese il nome di ἀνάλυσις e σύνθεσις in greco, *divisio* e *compositio* in latino. Il fatto che si tratti di due membri di una coppia indissolubile è efficacemente indicato dalla confusione conseguente all'introduzione della terminologia kantiana di «analitico» e «sintetico», talora in accordo col significato greco, tal altra in modo opposto. Di conseguenza, spesso «analitico» e «sintetico» sono oggi associati rispettivamente a deduzione e induzione; ma qui ci si atterrà all'uso opposto, piú vicino a quello originario, accolto in gran parte della letteratura. [Cfr. Turbayne 1970, cap. II; e Adler 1952].

Platone ammoniva che la semplice discesa dalle vette dell'assioma o di un'ipotesi non verificata la cui verità non è certa può bastare a costruire sistemi autocoerenti, come nel «mondo della geometria e delle arti che le sono sorelle» [*Repubblica*, VI, 511a, b], o anche sistemi tecnicamente operativi. Ma essa non conduce alla scienza (ἐπιστήμη). In termini moderni, ciò equivale a dire che tentare una sintesi senza previa analisi non porta alle verità. Per giungere alla vera conoscenza si deve procedere dapprima salendo e poi scendendo, come su un ponte. In altre parole, all'inizio si formula un'ipotesi (letteralmente: «posta sotto»), secondo quanto propone Platone: «considerando le ipotesi non principî, ma ipotesi nel senso reale della parola, punti di appoggio e di slancio per arrivare a ciò che è immune da ipotesi, al principio del tutto; e, dopo averlo raggiunto, ripiegare attenendosi rigorosamente alle conseguenze che ne derivano, e cosí discendere alla conclusione senza assolutamente ricorrere a niente di sensibile, ma alle sole idee, mediante le idee, passando alle idee; e nelle idee termina tutto il processo» [*ibid.*, 511b, c]. La ragione è qui vista procedere, nella prima metà del processo, «in senso ascendente» per induzione verso la percezione dei «principî primi». Poi la ragione segue l'arco discendente; nella seconda fase del processo, sino all'elaborazione di una dimostrazione: postulando queste verità come principî primi, colui che va in cerca della conoscenza perviene progressivamente a una conclusione mediante deduzione. A questo punto, essendo stata correttamente preceduta dall'analisi, può intervenire con successo la seconda parte del procedimento, corrispondente alla sintesi.

Nonostante tutte le differenze, Descartes e Newton concordarono con que-

sto ordinamento platonico. Descartes scrisse [1628]: «si comprende come si possa dire che quelle medesime proposizioni le quali vengono concluse immediatamente dai primi principî, da un differente punto di vista possono essere conosciute ora per intuito, ora per deduzione; ma poi gli stessi primi principî, soltanto per intuito; e al contrario le conclusioni remote in nessun'altra maniera che per deduzione» (trad. it. I, pp. 24-25). Newton si espresse in modo sostanzialmente analogo in un passo famoso [1704, IV, 31]: «L'indagine dei punti difficoltosi con il metodo dell'analisi dovrebbe sempre precedere il metodo della composizione. Quest'analisi consiste nel compiere esperimenti e osservazioni, nel ricavarne conclusioni generali per induzione, e nel non ammettere obiezioni contro le conclusioni al di fuori di quelle ottenute dagli esperimenti o da altre verità stabilite... Seguendo questa via di analisi possiamo procedere dagli... effetti alle loro cause... E la sintesi consiste nell'ammettere come principî le cause scoperte e stabilite, e tramite loro spiegare i fenomeni che ne derivano e fornire le spiegazioni».

La sequenza di analisi/sintesi (ascendente-discendente) si ritrova in Newton anche in altri luoghi, ad esempio nella prefazione ai *Principia* [1687]: «Sembra infatti che tutta la difficoltà della filosofia consista nell'investigare le forze della natura a partire dai fenomeni del moto e dopo nel dimostrare i restanti fenomeni a partire da queste forze [ad esempio, la postulata gravitazione universale]» (trad. it. p. 57). Mentre in Descartes l'identificazione dei postulati dava grande rilievo alle idee chiare e distinte, nonché al ruolo dell'intuizione, Newton si affidò all'osservazione ed all'esperimento per ancorare i principî primi all'esperienza. Proprio per questo gli scienziati moderni dal punto di vista filosofico sono piú vicini a Newton che non a Descartes. Ciò che né Descartes né Newton, e neppure alcuno dei maggiori scienziati sino al tempo di Einstein, affrontarono sino in fondo fu il fatto che è impossibile liberare completamente le «ipotesi» dalla loro origine nella fallibile immaginazione umana. Einstein non si limitò ad affermare che gli assiomi dai quali si debbono dedurre conseguenze da verificare empiricamente sono «libere invenzioni dell'intelletto umano», ma sostenne anche che in entrambe le metà dell'arco vi sono elementi che «appartengono alla sfera extra-logica (intuitiva)» (lettera a Maurice Solovine, 7 maggio 1952).

2.3. In che senso il lavoro di Newton fu una sintesi?

Bisogna ora vedere in che senso la realizzazione di Newton (e quella dei suoi seguaci, che si basarono sulle sue scoperte e nutrirono in parte le stesse ambizioni) si può considerare come un modello di sintesi nel senso culturale. Si devono distinguere sette aspetti concorrenti:

a) Il punto di partenza fu l'iniziale identificazione (e la successiva analisi, quando necessaria) di elementi singoli e apparentemente disparati [per il concetto di 'elemento' da Aristotele agl'inizi della chimica moderna, cfr. Hall 1968], soprattutto le varie classi distinte di oggetti che abbracciano un'infinità di casi individuali. Questi casi andavano dal moto di proiettili sulla Terra (tra i quali la mela) alla precessione degli equinozi, includendo le complesse perturbazioni nel moto lunare, le maree, il moto delle comete e quello dei pianeti.

Lo stesso Newton fu spesso chiaramente consapevole del fatto di escludere possibili elementi dalla sintesi finale. Ciò vale non solo per le «qualità occulte», che non erano piú prese in considerazione, ma per la luce e la sua propagazione, le reazioni chimiche, buona parte della meccanica dei fluidi e della teoria dell'elasticità, per le sensazioni nel corpo umano e le proprietà dell'etere (che egli ammise di considerare una necessaria sottostruttura dello spazio, indispensabile per la propagazione della luce, della gravità, probabilmente delle sensazioni e fors'anche come manifestazione del sensorio di Dio). Sacrificati erano anche i metodi di senso comune delle «ragioni» intuitive (ad esempio dei nostri muscoli), che pure erano bastati a rendere plausibile la soluzione cartesiana per il sistema solare, rappresentandolo come un immenso vortice di movimento nell'etere.

b) La chiave di questa sintesi fu il postulato (induttivo) newtoniano della legge di gravitazione universale come principio primo, applicabile a ogni coppia di oggetti, indipendentemente dal tipo, dalle dimensioni, dalla distanza, dal materiale interposto, o da qualsiasi altra cosa. Essenziale al successo della sintesi fu il fatto che questa legge venne immediatamente considerata, da scienziati ed altri intellettuali, come dotata di una sorprendente semplicità e universalità, in quanto si applicava a tutti gli oggetti materiali presenti nel cosmo; inoltre, essa evocò l'immagine sintetizzante di forze reciprocamente connesse che armonizzano letteralmente i frammenti dell'immenso cosmo.

c) La legge della gravitazione universale, insieme alle leggi del moto di Newton e all'apparato matematico per descrivere i problemi della cinematica e della dinamica, consentirono a Newton di dimostrare in forma sistematica che tutte le nozioni frammentarie preesistenti potevano essere dedotte e unificate come casi speciali del moto di corpi reali (ponderabili). In questa unificazione trovarono posto non soltanto singole osservazioni quali quelle relative al moto della Luna, che risalivano ai tempi babilonesi, ma anche leggi scoperte in precedenza, ad esempio le tre leggi empiriche del movimento planetario di Keplero, che ricevettero cosí una «spiegazione».

d) Non si deve sottovalutare l'effetto filosofico che ebbero sui contemporanei le dimostrazioni di Newton, per cui azioni causali e del tutto «ordinarie» intervenivano nella produzione di effetti complessi o tremendi, come ad esempio le maree e le comete; che il mondo dell'ovvio mutamento fosse spiegabile con la persistenza di pochissime, semplici leggi memorizzabili da ogni scolaro. Estendendo il regno dei familiari processi terrestri e dimostrandone l'operatività per tutto il mondo conoscibile, poté insinuarsi un'immagine quasi ipnotica e seducente: quella dell'universo come maestoso meccanismo a orologeria.

e) Tre altri aspetti tra loro connessi contribuirono a rendere la sintesi scientifica in senso moderno:

1) Newton mostrò come manipolare il complesso mondo fenomenico mediante un metodo matematico (che in parte dovette inventare all'uopo);
2) egli introdusse la prova dell'osservazione o di semplici esperimenti – sia pure esperimenti «mentali» – in punti cruciali del ragionamento;

3) la sua opera consentí previsioni che potevano essere e furono in seguito verificate (ad esempio, il calcolo che la cometa del 1682 avrebbe avuto un periodo approssimativo di settantacinque anni, trattandosi semplicemente di un oggetto muoventesi su una ellisse kepleriana e soggetto alla forza gravitazionale newtoniana; la determinazione su basi dinamiche della forma di pianeti rotanti quali la Terra e Giove; la scoperta di pianeti di cui s'ignorava l'esistenza, deducendone la posizione a partire dall'effetto gravitazionale perturbante da essi esercitato su pianeti visibili come Nettuno e Plutone).

f) Ciò che contribuí a rendere la sintesi newtoniana tanto duratura, fu il fatto ch'essa copriva un gran numero di classi distinte di casi, per «liberare» i quali occorsero ai fisici oltre due secoli. Basterà citare due esempi: la legge della gravitazione universale suggerí che le forze elettriche obbediscono allo stesso tipo di legge basata sul reciproco dei quadrati; il movimento dell'intera galassia a spirale nella quale oggi sappiamo compreso il nostro sistema solare mostra che le parti sono soggette alle azioni reciproche della forza newtoniana di gravitazione.

g) Ciò che contribuí a fare della sintesi newtoniana un potente modello fu il fatto ch'essa modificò anche la civiltà, oltre a unificare le parti principali della filosofia naturale. Questi cambiamenti non furono dovuti soltanto a conseguenze tecnologiche (per industrializzare una società è tuttora necessario cominciare con l'apprendere la fisica newtoniana), ma anche all'effetto esercitato sull'immaginazione, in biologia, psicologia, economia, sociologia, teologia e nelle arti. È questo il senso della affermazione di Fontenelle, per cui un'opera di morale, o di politica o di critica o magari di eloquenza sarebbe stata migliore se scritta da persona che avesse qualche conoscenza di matematica.

Lo stesso gioco di analisi e sintesi, induzione e deduzione, si pensò fosse applicabile in tutte le scienze naturali e sociali. Tutte potevano sperare di far tesoro sia della parte sperimentale, sia della parte matematica del «metodo scientifico». La natura, la società, la religione e la mente umana erano altrettanti campi aperti ai successi che se ne attendevano. Sembrava che tutti i problemi potessero essere ridotti al trattamento matematico d'interazioni quasi meccaniche di parti soggette a leggi specifiche nell'ambito generale delle «leggi della Natura e del Dio della Natura» (per citare un'efficace espressione della Dichiarazione d'indipendenza americana).

2.4. Limiti della sintesi newtoniana.

Per loro stessa natura, tuttavia, le sintesi possono riuscire solo entro certi limiti, al di là dei quali falliscono. Ciò vale anche per la sintesi newtoniana:

a) Il «fallimento» della sintesi newtoniana non consistette solo nel fatto che non abbracciava campi come quello della chimica contemporanea (o, come si direbbe oggi, nessuna delle quattro forze della natura a parte la gravità), ma che alla lunga non avrebbe potuto spiegare adeguatamente la gamma sempre piú estesa dei fenomeni, da quelli cosmologici a quelli dell'infinitamente piccolo (fisica atomica e nucleare). La scienza newtoniana è oggi connessa, da una parte, alla teoria della relatività, particolarmente importante per corpi a massa grandissima o che si muovono ad altissima velocità; dall'altra, si avvicina alla meccanica quantistica, per particelle di massa e dimensioni estremamente minuscole. Per la vasta gamma di problemi tra questi estremi, la teoria newtoniana fornisce risultati precisi e il suo uso è di gran lunga piú semplice; inoltre, senza la meccanica newtoniana la teoria della relatività e la meccanica quantistica non avrebbero potuto emergere.

b) Oltre all'impossibilità di coprire tutta l'area in espansione della conoscenza scientifica, il fallimento dipese anche dalle condizioni limite iniziali. Una sintesi esclude di necessità le sue alternative antitetiche, ognuna delle quali può sviluppare una propria forza culturale. Ciò fu alla base della ribellione romantica e ancor oggi i movimenti controculturali adottano atteggiamenti ed argomenti in gran parte analoghi. Li troviamo espressi nel modo piú chiaro e succinto dallo storico e filosofo della scienza E. A. Burtt [1927, pp. 236-37]: «la grande autorità di Newton era dietro quella visione del cosmo che scorgeva nell'uomo uno sparuto, irrilevante spettatore (come può esserlo qualcuno rinchiuso senza scampo in una stanza oscura) del vasto sistema matematico i cui movimenti regolari, fondati su principî meccanici, costituivano il mondo della natura. Il glorioso universo romantico di Dante e Milton, che non poneva limiti all'immaginazione dell'uomo nel suo vagare nel tempo e nello spazio, era ora stato spazzato via. Lo spazio era identificato col regno della geometria, il tempo con la continuità del numero. Il mondo in cui la gente aveva pensato di vivere – un mondo ricco di colori e di suoni, fragrante di odori, pieno di felicità, amore e bellezza, dove ogni cosa parla di armonia d'intenti e ideali creativi – era confinato nei cervelli di singoli esseri organici. Il mondo esterno realmente importante era un mondo duro, freddo, incolore, silente e morto; un mondo di quantità, un mondo di movimenti matematicamente computabili, dalla meccanica regolarità. Il mondo delle qualità immediatamente percepite dall'uomo diventava solo un effetto curioso e del tutto secondario di quella macchina infinita...»

È bene chiarire: la fraseologia usata nell'introdurre la citazione non va presa come segno di adesione a una teoria hegeliana. Come si ricorderà, la teoria della dialettica, soprattutto come svolta da Hegel, sosteneva che il pensiero umano attraverso la storia si sviluppò in stadi caratterizzati dalla triade dialettica, tesi, antitesi e sintesi. Quest'ultima è vista come la risoluzione di una necessaria lotta tra le altre due, capace di superarle entrambe, pur potendo anch'essa a sua volta diventare in seguito una tesi che suscita una nuova antitesi e quindi una nuova lotta. Un aspetto essenziale della teoria è che la tesi «produce» la sua antitesi, prescindendo completamente dai e imponendosi ai singoli pensatori, i cui discorsi non sono altro che l'espressione di forze superiori irresistibili. Cosí Hegel sosteneva nell'*Enciclopedia* [1830] che «la dialettica forma... l'anima motrice del progresso scientifico...: in essa soprattutto è la vera, e non estrinseca, elevazione sul finito» (trad. it. p. 97).

Un'altra caratteristica essenziale della teoria fu che la risoluzione delle contraddizioni tra tesi e antitesi non si ottiene scoprendo che certe parti dell'una o

dell'altra sono errate, o modificandole entrambe in modo da rendere possibile un nuovo accomodamento, ma accettando le contraddizioni entro la sintesi, in modo da «negarle» o cancellarle.

Le difficoltà, logiche e di altro tipo, insite in questa teoria sono numerose [cfr. Popper 1965, cap. XV]. Ma la difficoltà principale insorge quando si tratta di esaminare casi reali per vedere se simili schemi abbiano un'effettiva consistenza. Se s'interpretano seriamente i metodi e le scoperte della moderna storia della scienza, la risposta è negativa; questa è oggi una disciplina scientifica e non piú un terreno dove cacciare appropriati esempi aneddotici, come ai tempi di Hegel e sino a non molto tempo fa.

c) Tuttavia, nella loro disillusione per i limiti della visione globale newtoniana, gli oppositori romantici avrebbero potuto trovare un alleato, entro certi limiti, nello stesso Newton. Egli infatti, a differenza di molti altri, non si appagò della sua stessa dimostrazione, nei *Principia*, di un mondo fatto di forze, materia, moto e matematiche. Come risulta dall'analisi degli inediti newtoniani [ad esempio Manuel 1974], Newton non si considerava soltanto come uno scienziato, ma anche come uno storico che considerava proprio dovere lo studio delle Scritture come forma di testimonianza storica oggettiva. Mentre lo studio delle cause dei fenomeni naturali, ammetteva Newton, non ci conduce direttamente alla «causa prima» e al Creatore, lo fa la filosofia naturale, che a sua volta allarga i confini della filosofia morale.

In trattati quali *The Revelation According to Daniel*, Newton illustrò la fusione dei suoi interessi religiosi e natural-filosofici. Egli riteneva altrettanto importante scoprire il disegno nascosto nelle oscure profezie dell'*Apocalisse* quanto trovare la causa del moto della Luna e dei pianeti. Sperava inoltre di trovare una grande struttura unificante entro la quale tutti i particolari, fisici e non, componessero un universo coerente.

In realtà, gli attributi e la necessità di Dio sono incorporati nella stessa fisica di Newton, nelle sue concezioni dello spazio e del tempo assoluti, dell'etere, della gravitazione e della percezione sensoriale. Mentre per noi i *Principia* e l'*Opticks* sono delle straordinarie opere di sintesi scientifica, a Newton devono essere apparse semplicemente come i primi passi verso una sintesi molto piú vasta che gli sfuggí, una sintesi con la quale egli aveva sperato di giungere alla conoscenza del Creatore sia del libro della natura sia del libro delle Scritture. L'immensità di tale compito deve essergli stata piú che evidente, come dimostra il fatto ch'egli non pubblicò quasi nessuno dei suoi voluminosi scritti teologici, cui dedicò gran parte del suo tempo, anche nei periodi di piú intensa produzione scientifica.

Si deve perciò distinguere meglio di quanto di solito non si faccia fra sintesi di Newton e sintesi newtoniana: la seconda si riferisce al fruttuoso sviluppo della scienza fisica a partire dalla fine del XVII secolo; la prima ai risultati ottenuti dallo stesso Newton, nell'ambito dei quali gli splendidi *Principia* furono soltanto il primo, incompleto passo di una ricerca molto piú ambiziosa.

Altri tre punti completeranno questo esame della costruzione di una grande sintesi nel senso culturale: *a*) nelle scienze, tale sintesi culturale è ottenuta mediante l'interazione reciproca di analisi e sintesi, nel senso trasformazionale (Newton si basò su precedenti trionfi analitici, come quelli di Galileo, ad esempio il metodo di risoluzione e composizione di quantità vettoriali); *b*) qualsiasi sintesi deve adattarsi ad un insieme di condizioni limite, delle quali l'espressione piú chiara è spesso la scelta degli «elementi» iniziali. In tal modo si lascia potenzialmente aperta la via alla nascita, prima o poi, di un tentativo antitetico di sintesi centrato sugli elementi omessi. Qualsiasi sintesi forgiata dalla mente umana è quindi incompleta, spesso anche rispetto ai criteri che la fondano; *c*) nondimeno, la persistenza degli sforzi di sintesi e l'alto conto che se ne fa dimostrano che una spinta tematica verso la sintesi esiste ed è praticamente inevitabile. William James si riferiva ad una delle sue manifestazioni quando osservava che l'ideale perseguito da questa filosofia è una formula universale matematica. In altre parole, in una forma o nell'altra, siamo eredi della visione laplaciana che considera il futuro come la ragionevole estrapolazione di stati presenti, misurati, teoricamente, con un certo grado (variabile) di comprensività, finezza e precisione. Anche Helmholtz sperava in tal modo di giungere, sempre teoricamente, alla completa intelligibilità della natura. Come si vedrà, questa tendenza reca i segni dell'antica speranza nella conoscenza trascendentale dell'«Uno».

3. *Distinzioni e pericoli.*

Dopo aver esaminato l'uso del termine analisi/sintesi e il suo ruolo nel pensiero newtoniano come caso esemplare, si tratta ora di operare una distinzione piú adeguata tra analisi e sintesi, nonché di sceverare il processo di analisi e sintesi da altri concetti ed attività. Si dovrà tenere presente che spesso non è possibile stabilire limiti naturali, e che pertanto essi risultano stabiliti con troppa o troppo poca nettezza.

3.1. Presupposto di una struttura unitaria costituita di elementi affini.

Il procedimento di analisi e sintesi implica immediatamente il presupposto aprioristico dell'esistenza di una qualche unità nella natura e nella conoscenza, un'unità che sarebbe possibile penetrare, suddividere o comunque rendere maneggevole mediante l'analisi di elementi affini per origine, per poi ricomporla mediante la sintesi. Tuttavia, i fenomeni naturali non mostrano affatto queste caratteristiche: a differenza, per esempio, di «analogia» – concetto che s'impone naturalmente all'intelletto per via dell'esistenza di semplici simmetrie formali nel materiale osservato – il concetto di analisi e sintesi difficilmente s'impone a partire da un qualsiasi processo naturale. Cosí, quando si osserva direttamente un processo naturale di decadenza o di crescita, sarebbe errato credere che sia possibile discernere i processi di analisi o sintesi «in sé» piuttosto che, ad esempio, quelli di trasformazione qualitativa. Senza dubbio, sappiamo che a ogni divisione cellulare l'elica svolta del DNA replica la doppia elica originaria sintetiz-

zando ordinatamente una struttura a partire dai materiali ambientali; analogamente, uno psicofisiologo ha scoperto che animali con cervello danneggiato (compreso l'uomo) spesso si riprendono realizzando una ricostruzione che ricapitola in sequenza la crescita degli organismi sin dai primi stadi. Ma questi esempi sono il risultato della disposizione delle osservazioni nell'intelaiatura di una elaborata teoria dei modelli.

Gli elementi per individuare le linee lungo le quali suddividere un complesso in «frammenti» separati per l'analisi, o per identificare gli elementi che servono come materia prima per la sintesi, vengono solitamente imposti dalla *tradizione* vigente nel particolare campo di studio. Un esempio moderno nel campo dell'antropologia è quello della descrizione dell'universo degli Zinacantechi ad opera di Evon Z. Vogt [1970]. Riconoscendo che ogni sforzo per individuare aspetti distinti nella totalità del modo di vita di questi Maya lascia sussistere elementi ancora intimamente connessi tra loro, l'autore dice di averli «del tutto arbitrariamente suddivisi in una serie di capitoli: credenze sull'universo, organizzazione in un centro cerimoniale e piccoli villaggi periferici, vita sociale, economia, ciclo vitale, rituale». Questi capitoli, che rispettano ciascuno linee di divisione tradizionali, aiutano a dissezionare, analizzare e meglio comprendere la cultura nei termini di queste componenti tradizionali. Viceversa – spera Vogt – il lettore «sarà in grado di sintetizzare i diversi elementi sovrapponendo una descrizione all'altra in modo da formare l'immagine di un sistema altamente integrato, avvicinandosi cosí con maggior chiarezza alla concezione che gli Zinacantechi hanno del loro proprio modo di vivere». È evidente che la sintesi realizzata da ogni lettore sarà un prodotto individuale con orientamento particolare, a seconda dello schema di riferimento culturale e professionale del singolo: non esistono infatti criteri assoluti né per il processo di analisi né per quello di sintesi.

3.2. Altre conseguenze degli schemi culturali.

Lo schema di riferimento culturale orienta l'idea che ci si fa della coppia analisi/sintesi come metodo e fissa i termini della distinzione all'interno della coppia stessa. Con questo non si vuol dire semplicemente che il tipo di sintesi in un determinato campo sarà diverso a seconda che lo *Zeitgeist* sia dominato da Platone ed Euclide, o magari da Sartre e Gödel. Anche nell'ambito di un dato periodo di tempo possono darsi grandi differenze culturali. Un modo semplice per illustrare questo punto sta nel rilevare il diverso trattamento della malattia, oggi, in contesti etnografici diversi. I sintomi percepiti tanto dal paziente quanto dal guaritore, la causa presunta, l'analisi degli stadi probabili della malattia e naturalmente la cura prescritta, dipendono tutti strettamente dallo specifico contesto sociale. Mentre il paziente occidentale si preoccuperà delle modificazioni fisiologiche e biochimiche, un indio messicano penserà essenzialmente a ricondurre la propria «anima interna» perduta nel recinto delle sue divinità. Il senso di unità e di olismo nel secondo caso (anch'esso con i suoi inconvenienti) contrasta acutamente con un sistema intellettuale che tende a scomporre

l'uomo *ab initio* in sfere separabili, quali la corporea, la mentale e la spirituale. Le manifestazioni del morbo tra gruppi «primitivi», anche in una società industriale, tendono a essere influenzate da un orientamento piú olistico; di conseguenza risulterà alquanto diverso anche il legame che i membri dei gruppi saranno inclini a tracciare tra patologia «funzionale» e «organica».

3.3. La problematica della coppia analisi/sintesi nell'uso.

Relativa rispetto agli schemi culturali, la coppia analisi/sintesi può anche presentarsi in modi diversi in campi distinti all'interno della stessa cultura; come sosteneva Locke, i modi di ragionare possono differire, ad esempio tra matematica e morale. Per di piú, nuovi progressi nella conoscenza modificano ciò che si considera necessario ai fini di una rappresentazione dell'universo completa e coerente. Ma anche in un dato campo, in un'epoca data, i modi cognitivi dei ricercatori sono diversi: i processi di sintesi o analisi che si propongono saranno necessariamente diversi per coloro che tendono a pensare visivamente e per coloro che sono inclini a pensare in modo semantico.

Per tali motivi, è possibile discutere *in teoria*, e senza possibilità di soluzione, sugli elementi specifici verso i quali dovrebbe rivolgersi l'analisi e sulla forma di struttura verso la quale è orientato il processo di sintesi. Quando Descartes s'impose come regola di «dividere ogni problema preso a studiare in tante parti minori, quante fosse possibile e necessario per meglio risolverlo» [1637, trad. it. I, p. 142], Leibniz obiettò che un simile metodo non dava alcun criterio che impedisse di suddividere il problema in parti inappropriate, accrescendo in tal modo la difficoltà.

La stessa obiezione è stata spesso mossa anche contro l'analisi dei sistemi, tecnica che viene ad esempio utilizzata per stabilire le capacità di soddisfare i bisogni energetici di una nazione per un certo periodo nel futuro. In questo caso si scompone tipicamente il «problema» in alcune subunità al cui interno si ritiene esista una quasi-autonomia e un quasi-equilibrio, e nelle quali le interazioni di ordine superiore sono, almeno momentaneamente, trascurabili. Giudizi di questo tipo possono andare gravemente soggetti ad errore, tanto piú se è difficile modificare azioni intraprese sulla base di un'analisi dei sistemi i cui presupposti si rivelino successivamente erronei.

Un caso ancora piú semplice è quello del metodo sbagliato di scegliere gli «elementi» in funzione della facilità di compierne misurazioni grossolane. Per citare un esempio, l'inquinamento viene misurato negli Stati Uniti (in base al Clean Air Act del 1970) ricorrendo al peso totale, relativamente facile da ottenere, di ciascuna delle sei sostanze inquinanti fondamentali: materiale suddiviso in particelle, ossidi di zolfo, monossido di carbonio, ossidanti fotochimici, ossidi di azoto e idrocarburi. Questo criterio, secondo quanto ora scoperto dal Council on Environmental Quality, l'organo federale di consulenza per il presidente e il Congresso degli Stati Uniti, non distingue tra le particelle grosse, relativamente innocue, e quelle di piccole dimensioni, deleterie nei polmoni umani; inoltre, non fornisce alcuna misura di sostanze tossiche quali i solfati acidi, i nitrati, i

metalli in traccia, e i composti organici, né delle interazioni eventualmente pericolose tra due o piú di queste sostanze.

3.4. Analisi vs sintesi.

Opposti orientamenti tematici di esperti in un particolare gruppo ad un dato momento possono provocarne il brusco spostamento verso l'analisi o la sintesi. Scegliendo un solo esempio tra i molti possibili, l'autrice di una recente rassegna di studi antropologici sulla parentela [Buchler 1976] illustra esaurientemente questo punto: dopo un secolo di discussione, «nonostante l'apparente diversità di prospettive, si possono distinguere due fazioni: i frazionatori e i sintetizzatori. Per i primi la parentela è divisibile, a scopi analitici, in una serie di aspetti discreti: nomenclatura, sistemi di alleanza (matrimonio) e di discendenza, organizzazione domestica e familiare. Per i secondi, si tratta di una specie di idioma sociale, di un modo d'intendere la vita sociale che è inseparabile da altri... I frazionatori, in moltissimi casi, sono formalisti o etnologi di un certo tipo, mentre i sintetizzatori sono spesso sostenitori di posizioni quali l'antropologia simbolica o lo strutturalismo. Entrambi i settori si occupano delle fondamenta descrittive dell'antropologia sociale... La parentela è una sorta di crogiolo per teorie di descrizione e analisi».

In linea di massima, soltanto gli spiriti piú elevati tra gli studiosi e gli scienziati riescono a evitare di cadere nel campo dei frazionatori o dei sintetizzatori, e a tener presente l'unità della coppia analisi/sintesi. Freud se ne rendeva conto quando scriveva in una lettera a Carl Jung, il 7 aprile 1907 [1974]: «Nascondere che la psicosintesi è la stessa cosa della psicoanalisi è qualcosa che assume veramente l'aspetto della perfidia. Per quale altra ragione, se non per rimetterli insieme, noi cerchiamo per mezzo dell'analisi tutti i vari pezzi rimossi?» (trad. it. p. 29). Analogamente, Descartes sapeva che il suo uso dell'algebra nello sviluppare la geometria analitica era inteso a riunire le varie parti della matematica e inoltre a fare dell'analisi un metodo universalmente valido; infatti, Descartes riteneva la sua matematica universale piú potente di qualsiasi altro strumento di conoscenza, «essendo la fonte di tutte le altre».

Torniamo qui a un'osservazione già fatta: può essere un segno del nostro tempo – che tende ad abbracciare il pluralismo e disapprovare il monismo – il fatto che vi sia un'asimmetria tra analisi e sintesi, ad esempio che i lemmi relativi all'analisi siano piú frequenti di quelli riferentisi alla sintesi. Ma i monisti non sono affatto sconfitti, né potranno mai esserlo, finché obbediranno a una spinta tematica. William James considerava la disputa tra pluralisti e monisti nientemeno che il «piú centrale di tutti i problemi filosofici» e segnalava [1907, Lecture 4] che la controversia non è risolubile: «Desidero riferirmi... all'antico problema dell'"uno e i molti"... Io stesso sono arrivato, meditandovi a lungo, a giudicarlo il piú centrale di tutti i problemi filosofici... Con questo voglio dire che se sapete che un uomo è un convinto monista o un risoluto pluralista, forse ne sapete di piú sul resto delle sue opinioni che non dandogli un qualsiasi altro nome terminante in *ista*...»

Non c'è dubbio che la distinzione tra sintetizzatori e frazionatori può essere riscontrata nella pratica, e che i sintetizzatori sono da annoverarsi tra i monisti, cosí come i frazionatori tra i pluralisti. Mentre i primi tendono all'universale e al globale – si ricordi il «tutto è acqua» di Talete, il «tutto è numero» di Pitagora, il «tutto è atomi e vuoto» di Democrito, e cosí via sino al «Nulla esiste al mondo salvo lo spazio vuoto curvo» di John Wheeler [1962, p. 225; e per il suo successivo orientamento, che lascia però intatto il postulato monistico, Grünbaum 1973] – i secondi si sentono a proprio agio tra le singole parti.

Entrambi sono incoraggiati, nelle loro eccessive semplificazioni, da un orientamento tematico, nel senso di spezzare le barriere, o viceversa di trascurare tutte le interazioni secondarie e di ordine piú elevato tra i singoli elementi. Senza dubbio, entrambi gli orientamenti possono di per sé produrre un lavoro molto fruttuoso in corrispondenza a fondamentali abilità e capacità intellettuali, separatamente analizzabili e previste nella tassonomia degli obiettivi educativi [cfr. Krathwohl, Bloom e Masia 1956, pp. 191-92]. Tuttavia, il citato ammonimento di Platone resta appropriato. L'analisi o la sintesi, da sole, lasciano l'opera incompleta; la ragione prima sale con l'analisi e poi discende con la sintesi.

Il miglior esempio di un eletto spirito scientifico che rifiutò di favorire l'una o l'altra delle due posizioni prese isolatamente è quello di Niels Bohr. Nel primo fascicolo della *International Encyclopedia of Unified Science* egli espresse il suo rifiuto in un unico, possente paragrafo: «Benché una necessità puramente pratica costringa la maggior parte degli scienziati a concentrare i loro sforzi in campi particolari di ricerca, la scienza, in conformità col suo scopo che è quello di accrescere la conoscenza umana, è essenzialmente un'unità. Sebbene i periodi in cui la scienza avanza nell'esplorazione di nuovi campi dell'esperienza rivelino spesso anche una temporanea rinuncia alla comprensione della nostra situazione, in ogni momento la storia della scienza ci insegna come l'estensione della nostra conoscenza conduca al riconoscimento di relazioni fra gruppi di fenomeni tra i quali non si ammetteva in precedenza alcun rapporto; la loro sintesi richiede una nuova revisione dei presupposti, perché si possano applicare in modo univoco i nostri concetti piú elementari. Questo ci dimostra non solo l'unità di tutte le scienze che mirano alla descrizione del mondo esterno, ma soprattutto l'inseparabilità dell'analisi epistemologica dall'analisi psicologica. Il programma di questa grande *Enciclopedia* si distingue da quello delle enciclopedie precedenti (in cui si dava piú importanza alla compiutezza del resoconto sull'attuale stato di conoscenza che alla chiarificazione della metodologia scientifica), proprio per il fatto che in essa si dà un grande valore a questa inseparabilità, dimostrata dagli ultimi sviluppi delle scienze piú diverse. Speriamo quindi che questa *Enciclopedia* possa esercitare una profonda influenza sull'atteggiamento di tutta la nostra generazione, che, nonostante il continuo aumento della specializzazione nella scienza e nella tecnologia, ha acquistato un sentimento sempre piú forte della reciproca dipendenza di tutte le attività umane. Soprattutto essa ci potrà aiutare a renderci conto che ogni restrizione arbitraria implica il pericolo di pregiudizi, e che la sola via che ci è offerta è lo sforzo continuo di equilibrare l'analisi con la sintesi» [Bohr 1938, trad. it. p. 35].

3.5. Possibili aspetti fisiologici.

Si stanno accumulando prove sulla possibile esistenza di una componente fisiologica valida per spiegare tanto l'esistenza della dicotomia analisi/sintesi nel pensiero di ognuno, quanto la preferenza per l'una o l'altra in casi particolari. Abbastanza recentemente si è scoperto che gli emisferi destro e sinistro del cervello umano sembrano sede di modalità di pensiero distinte. Per le persone destrorse, pare che l'emisfero sinistro sia maggiormente implicato nell'elaborazione del linguaggio, nelle strutture linguistiche e nelle sequenze «logiche». L'emisfero destro sembra pensare di preferenza in termini d'immagini olistiche, e viene anche identificato con l'orientamento spaziale, la produzione di musica e la rappresentazione pittorica. Secondo certi dati sperimentali l'emisfero destro è probabilmente sede delle attività di tipo piú intuitivo e può agire in larga misura indipendentemente e contemporaneamente a quello sinistro.

Ne possono derivare un certo numero di conseguenze. Una di esse è la possibilità di un diverso sviluppo dell'una o dell'altra di queste modalità, in corrispondenza a differenze fisiologiche individuali; un'altra, che la soluzione di problemi, in cui intervengono sia l'analisi che la sintesi, possa essere suddivisa in sequenze temporali tra le due metà del cervello, ad esempio iniziando con idee a limitato livello di logicità nell'emisfero destro, passando poi a una preliminare focalizzazione ad opera dei processi logici dell'emisfero sinistro per tornare poi nuovamente all'emisfero destro, ove talvolta si può osservare una soluzione improvvisa e completamente inaspettata. Va sottolineato però che queste interessanti indicazioni sono ancora ad uno stadio di sperimentazione preliminare.

3.6. Monismo estremo.

È necessario distinguere il processo di analisi e sintesi da altre forme di conoscenza che spesso non vengono considerate parte del normale ragionamento umano. Cosí per Plotino, come per san Tommaso d'Aquino, la diretta percezione dell'Uno era conoscenza trascendente, divina. Il sensorio di Dio era continuo e immutabile, mentre l'attività intellettuale dell'uomo era dualistica (dualismo soggetto/oggetto) e discorsiva. La conoscenza umana che piú poteva avvicinarsi a quella condizione si aveva attraverso il processo dell'intuizione; nel modo in cui anche Descartes comprese e si serví di questo concetto, l'intuizione perveniva alla conoscenza senza fasi intermedie, direttamente e con certezza.

S'intravvede qui un aspetto centrale del concetto di sintesi cui si è fatto riferimento alla fine del § 2. Nella sua forma estrema l'occasionale presenza di una percezione piú o meno «diretta» al termine del processo di induzione può dischiudere una prospettiva totalizzante e unitaria che, in Platone, evidentemente portò ad accettare i principî primi cosí ottenuti. In Plotino, essa si estrinseca nella concezione dell'Uno (William James caratterizzò i monisti come «ottimisti» e li considerò «spiriti teneri», mentre considerava i pluralisti pessimisti e «duri». Ernest Gellner [1975, p. 2] suggerisce che evidentemente James supponeva che gli spiriti teneri fossero ottimisti in quanto erano monisti e quindi potevano fare affidamento «sul grande, onnicomprensivo Uno, sempre là, sullo sfondo, a garanzia di una fine felice»). È opportuno aggiungere, comunque, che nella sua forma estrema questo tipo di sintesi può essere caratteristico di certi disordini mentali.

3.7. Forme diverse di analisi/sintesi?

Un problema che ha richiamato l'attenzione di molti scienziati sociali è fino a che punto sia da considerare intrinsecamente viziata l'abitudine di esemplare troppo strettamente sulle scienze fisiche i metodi, compresi quelli dell'analisi e della sintesi, usati in altre scienze. In realtà vi sono buoni motivi per sospettare che «accidenti» storici abbiano favorito le scienze fisiche in modo da renderle troppo «semplici» per risultare modelli del tutto adeguati. Cosí, il prototipo per la ricerca nelle scienze fisiche è stato fornito una volta per tutte dai primi successi in astronomia, ad esempio concentrando l'attenzione sui punti luminosi in movimento rappresentanti i pianeti, e costruendo un modello del sistema solare a partire da osservazioni sui loro moti relativi sullo sfondo delle stelle fisse.

La profusione di dati e complessità doveva produrre un sistema semplice, poiché i pianeti *erano* indipendenti l'uno dall'altro; un'unica forza d'origine solare agente su ciascuno di essi è un'approssimazione abbastanza adeguata per comprenderne il moto. Essi costituivano quindi un campione «puro», forse il piú semplice di tutti i campioni con i quali la scienza ha avuto a che fare da allora in poi. Perciò il successo dei primi costruttori di sistemi astronomici fu un successo della filosofia della super-semplificazione, difficilmente applicabile oggi persino alle scienze fisiche. Si potevano svolgere osservazioni cumulative estese su periodi di tempo molto lunghi, sulle «stesse cose»; in altre parole i campioni erano stabili – i piú stabili esistenti. I dati erano perciò riproducibili, il che consentí la formazione di una comunità internazionale di scienziati che poterono imparare a raccogliere consensi riferendosi a osservazioni ripetibili e confrontabili. Inoltre, nella storia della scienza fisica ci furono osservatori attenti come Tycho Brahe e speculatori audaci come Keplero. Essi potevano essere in disaccordo su tutti i presupposti essenziali, eppure collaborare.

Passando agli studi sociali, la situazione appare sorprendentemente diversa. Da un lato, l'universo dei campioni raramente è abbastanza netto e stabile da consentire misurazioni facilmente riproducibili ad opera di altri gruppi o con altre tecniche, in particolare ai microlivelli o con la struttura fine. E neppure è concepibile che la distanza e lo sdoppiamento tra osservatore e fatto osservato possa avere negli studi sociali lo stesso successo che ha avuto nella maggior parte delle scienze fisiche. In breve, non c'è da stupirsi se le forme assunte in questi campi diversi dai procedimenti di analisi e sintesi risultano a loro volta notevolmente diverse.

4. *Kant e Einstein sui giudizi sintetici a priori.*

Nonostante il suo fallimento, uno dei piú importanti tentativi di esplorare il potere del concetto di analisi/sintesi fu la distinzione kantiana tra giudizi analitici (o esplicativi) – una classe particolare di verità «necessarie» – e giudizi sintetici. A titolo illustrativo, egli disse che l'asserzione «Tutti i corpi sono estesi» non allarga affatto il nostro concetto di corpo ma ci spinge ad analizzarlo. Viceversa, il giudizio «Tutti i corpi hanno un peso» – sostiene Kant – contiene nel suo predicato qualcosa che non è effettivamente compreso nel concetto generale di corpo; quindi ne allarga la conoscenza e dev'essere definito sintetico.

Kant divise inoltre giudizi e proposizioni in a posteriori (verità basate su fatti empirici) o a priori (prive di tale fondamento, quindi trascendentali, dimostrate con la «ragion pura»). Questa partizione dà anche origine ai due corrispondenti tipi di conoscenza. Per di piú, le dicotomie analitico/sintetico da un lato, e a posteriori / a priori dall'altro, portarono alla concezione delle quattro coppie di suddivisioni possibili di giudizi e proposizioni.

Che questo dispositivo, a prima vista cosí attraente, potesse produrre categorie significative sul piano operativo era un'altra faccenda. In generale oggi si ammette piuttosto che il concetto di 'sintetico a priori', ad esempio, è una nozione incerta, molto precaria [cfr. ad esempio Pap 1972, cap. XVI] e certamente non utilizzabile in matematica come pensava Kant. (Molti sostengono oggi che le proposizioni matematiche sono soltanto analitiche a priori). Qualsiasi nozione che pretenda di essere a priori è esposta alla costante minaccia di nuovi dati che la smentiscano; ad esempio dati forniti dalla neurofisiologia o dalla psicologia cognitiva che hanno messo in una prospettiva interamente nuova le complesse relazioni tra «esperienza» e potenziale genetico antecedente. Inoltre, come notato piú sopra, il passaggio da un universo euclideo e newtoniano, come quello di Kant, al nostro dominato dalle idee einsteiniane ed altre recenti nozioni scientifiche, modifica completamente il quadro, ad esempio nel significato stesso di ciò che si può considerare «empirico».

Lo stesso Einstein, nell'opera e nell'epistolario, documentò un itinerario che andava da una filosofia della scienza prossima al sensismo e operazionismo di Mach, al successivo razionalismo che accettava la concezione di un mondo oggettivo, «reale», retrostante ai fenomeni cui sono esposti i nostri sensi. Come Einstein affermò in una delle sue lettere (24 gennaio 1938, a C. Lanczos), «Provenendo da un empirismo scettico di tipo vicino a quello di Mach, mi trasformai, a causa del problema della gravitazione, in un fervente razionalista, ovvero uno che cerca l'unica fonte attendibile di verità nella semplicità matematica».

Il problema cui si era trovato di fronte, com'egli spiegò in *Physics and Reality* [1936, trad. it. p. 289], consisteva nel fatto che lo scopo della teoria generale della relatività era stato quello di collegarsi «nel piú semplice modo possibile» con «fatti "direttamente osservabili"»; ma l'obiettivo si dimostrava irraggiungibile. «L'inclusione, come richiedeva il principio di equivalenza, di trasformazioni non lineari, risultava fatale alla semplice interpretazione fisica delle coordinate, vale a dire che non si poteva piú pretendere che le differenze di coordinate rappresentassero risultati immediati di misure eseguite per mezzo di metri o di orologi ideali». La soluzione del dilemma, dal 1912 in avanti, consisté nell'attribuire significato fisico non ai differenziali delle coordinate, ma soltanto alla metrica riemanniana loro corrispondente [Einstein 1954*a*, trad. it. pp. 270-271; cfr. Holton 1973].

Come disse in una conferenza del 1933: «I concetti matematici possono essere suggeriti dall'esperienza, ma mai dedotti da questa. L'esperienza resta, naturalmente, l'unico criterio per utilizzare una costruzione matematica per la fisica, ma è nella matematica che risiede il principio creatore. Io sono portato a credere nella capacità, in un certo senso, del pensiero puro a dominare la realtà, proprio come pensavano gli antichi» [Einstein 1933, trad. it. p. 257]. In effetti, nella conferenza *Physics and Reality* [1936] Einstein affermò esplicitamente che la teoria della conoscenza di Mach non è sufficiente a causa della vicinanza tra esperienza e concetti ch'essa suppone. Einstein sostiene quindi la necessità di andare oltre questa fisica «fenomenologica», per realizzare una teoria le cui basi possano essere ulteriormente allontanate dalla diretta esperienza, ma che in cambio presenti piú unità nei fondamenti.

Scrivendo su Kant da questo punto di vista, in età piú avanzata, Einstein sentí che la differenziazione kantiana tra indispensabilità di certi concetti considerati come premesse necessarie per ogni tipo di pensiero, da un lato, e concetti di origine empirica, dall'altro, era indifendibile: «Io sono convinto, invece, che questa distinzione sia erronea, cioè che non ponga il problema nei suoi giusti termini. Tutti i concetti, anche quelli piú vicini all'esperienza, sono dal punto di vista logico convenzioni liberamente scelte, come appunto nel caso del concetto di causalità da cui ebbe origine quest'ordine di problemi» [Einstein 1949, trad. it. p. 9].

Einstein aveva appena raccontato la sua gioia nello scoprire, in una fase precedente, che gli «oggetti» mentali di cui si occupa la geometria gli sembravano di tipo non diverso dagli oggetti della percezione sensoriale, «che si possono vedere e toccare»: «Quest'idea rudimentale, probabilmente la stessa che sta alla base della ben nota problematica kantiana sulla possibilità dei "giudizi sintetici *a priori*", si fonda ovviamente sul fatto che il rapporto esistente fra i concetti geometrici e gli oggetti dell'esperienza sensibile (bacchetta rigida, intervallo finito, ecc.) mi era inconsciamente presente.

«Se quindi sembrava possibile acquistare una certa conoscenza degli oggetti dell'esperienza per mezzo del puro pensiero, questa "meraviglia" nasceva da un errore. Ciononostante, per chiunque lo sperimenti per la prima volta, può ben dirsi meraviglioso il fatto che l'uomo sia anche soltanto capace di raggiungere un grado di certezza e di astrazione, nella speculazione pura, come quello che i Greci per primi dimostrarono possibile nella geometria» [Einstein 1949, trad. it. p. 7].

Al termine del volume, Einstein ritorna ancora a Kant e a quanti a suo avviso persistevano nell'errore dei «giudizi sintetici *a priori*». Egli avverte che il

proprio atteggiamento teoretico «si distingue da quello di Kant solo in quanto noi non concepiamo le "categorie" come se fossero immutabili (condizionate dalla natura del pensiero), ma come se fossero (in senso logico) libere convenzioni. Esse si presentano come categorie *a priori* solo in quanto il pensare, senza fondarsi su categorie e concetti in generale, sarebbe impossibile come il respirare nel vuoto» [*ibid.*, p. 619].

Questa percezione einsteiniana della ***necessità di postulare categorie*** fu una delle poche sopravvivenze della battaglia attorno ai giudizi sintetici a priori. Siamo ora pronti a riconoscere che *la stessa dicotomia analisi/sintesi è un riflesso dell'esistenza di una fondamentale coppia tematica.* Alcune delle sue manifestazioni compaiono sotto etichette quali: l'uno e i molti (molteplice); il tutto e le parti; aggregazione e disaggregazione; olismo e riduzionismo; unificazione e smembramento (dicotomizzazione, categorizzazione, riduzione, ecc.); frammentazione e globalità, ecc. La migliore caratterizzazione terminologica per la coppia è però l'opposizione differenziazione/integrazione.

5. *Aspetti dell'analisi tematica.*

Dalla storia della scienza risulta che spesso l'analisi completa di un'opera scientifica richiede un procedimento per il quale mi sono servito di un termine consacrato dal tempo, familiare grazie all'uso abbastanza analogo che se ne fa nella critica d'arte, in musicologia, antropologia e altri campi. Il termine è 'analisi tematica'. Infatti in molti (e forse moltissimi) concetti, metodi, proposizioni o ipotesi scientifiche del passato e del presente si trova un elemento, un tema in grado di motivare l'individuo e di polarizzare la comunità scientifica.

Nelle presentazioni pubbliche delle opere degli scienziati, e ancor piú nel corso di un'eventuale controversia scientifica, questo elemento di solito non è esplicitamente in discussione. Il dibattito si riferisce soprattutto al contenuto empirico e a quello analitico, ossia ai fenomeni ripetibili e alle proposizioni relative alla logica e alla matematica che si prestano ad acquisire con una certa rapidità un consenso pubblico sulla giustificazione del lavoro (in ciò, naturalmente, risiede la forza del metodo). Intrecciato con queste proposizioni verificabili o almeno falsificabili, vi è però in generale un altro gruppo di proposizioni o presupposti essenzialmente non-verificabile e non-falsificabile, e tuttavia indispensabile nonostante gli alti e bassi cui va soggetto.

Per esempio: tutta la tradizione della fisica fondata ai tempi di Newton sosteneva che ogni manifestazione di caos e di incertezza deve poggiare su un ordine e una certezza sottostanti, che ne forniscono la spiegazione; proprio come, nella scienza greca, il moto osservabile dei pianeti, apparentemente erratico, era stato interpretato come il risultato complesso di molti movimenti semplici e ordinati sovrapposti l'uno all'altro. Questo prototipo di spiegazione (sequenze causali classiche spiegano irregolarità o disordini osservati) è un orientamento tematico. Non è una necessità sperimentale o logica. In realtà, esso sembrò messo in pericolo dall'introduzione, verso la metà del XIX secolo, di una descrizione del

tipo opposto, che traeva origine nella teoria cinetica. Risultò infatti che un buon modo per comprendere casi d'ordine semplice consistesse nell'immaginarli dovuti al caos sottostante. Cosí, un pallone riempito di gas sotto pressione e osservato in stato di quiete sul tavolo, viene compreso immaginando che un numero immenso di particelle di gas, tutte con velocità e direzioni diverse, collida senza posa con la superficie interna del pallone. La grandine di urti si elide in tutte le direzioni e determina lo stato di quiete dell'oggetto. Un ordine semplice al livello visibile era quindi spiegabile con il caos al livello invisibile.

Non fu tuttavia soltanto per caso che toccò ancora una volta ad Einstein, nel suo articolo sul moto browniano [1906], di ribaltare il senso della spiegazione, ristabilendo (Einstein non credeva «che Dio giocasse a dadi») le priorità ontologiche risalenti a Newton (il quale aveva scritto che Dio era un «Dio di Ordine»). Il problema di Einstein consisteva nello spiegare l'irregolare, eterno moto danzante di minuscole ma visibili particelle di polvere viste al microscopio. I movimenti apparentemente accidentali di quel mondo microscopico visibile erano, secondo Einstein, pienamente spiegabili in base al presupposto che le semplici leggi newtoniane regolanti il moto di due palle da biliardo collidenti spieghino anche l'azione delle molecole invisibili, submicroscopiche che bombardano le particelle di polvere. Dopotutto si potrebbe supporre che un ordine newtoniano regni al fondo delle cose.

Con lo sviluppo della fisica quantistica divenne però sempre piú evidente che l'apparenza dell'ordine newtoniano tra particelle in collisione si spiegava nel modo migliore considerando che l'ordine (sulla scala di misura che si era dimostrata sino allora soddisfacente allo scopo) era semplicemente il risultato manifesto di un'ampia somma di eventi atomici, ognuno dei quali individualmente soggetto alle leggi del caso: esattamente come in precedenza la quiescenza di un pallone pieno di gas sulla tavola poté essere ritenuta il risultato di accidenti e agitazioni elidentisi all'interno. Con il suo principio d'indeterminazione, Werner Heisenberg voleva significare che l'argomento esplicativo fondamentale dopotutto non è la sequenza semplice, causale, punto per punto, tipica, per esempio, dell'avanzamento di un satellite in orbita attorno a un pianeta centrale, ma la sequenza probabilistica di un generatore di numeri casuali o di un gioco d'azzardo. Ancora una volta la scala ontologica era capovolta.

Non mancarono tuttavia – e non mancano – tentativi in senso opposto. Lo stesso Einstein, e un ristretto ma combattivo gruppo di suoi seguaci, non accettarono mai come verificata la supremazia del tema del probabilismo fondamentale nella natura fisica e sperarono di mostrare che al di sotto del livello al quale opera il principio d'indeterminazione esiste ancora un altro livello della natura, ove agiscono, in base a principî classici, meccanismi nascosti, sinora inaccessibili, capaci di produrre l'aspetto di casualità nei processi atomici: il caos dall'ordine, e non viceversa.

Altro esempio connesso di orientamenti tematici è l'antica adozione, a partire dal democriteo «tutto è atomi e vuoto», di un punto di vista corpuscolare o atomistico per spiegare il comportamento della materia – o del suo opposto, il tema della supremazia del continuo, come nell'opera dei teorici che spiegavano la

materia in termini di singolarità o vortici in un fluido o campo, e non potevano credere che la discontinuità dei quanti fosse veramente fondamentale. Mentre la maggior parte dei fisici moderni sono tematicamente democritei, Schrödinger e i suoi discepoli, per i quali lo strumento basilare di spiegazione era il continuo, dissentivano appassionatamente. Schrödinger dichiarò che avrebbe preferito abbandonare la carriera di fisico se si fosse considerata fondamentale la discontinuità nei processi atomici.

Tra tali opposti tematici, non è facile giungere a un accordo. Heisenberg fu uno di coloro che cercarono di convincere Einstein: «Quello trascorso con Einstein fu un pomeriggio molto piacevole; pure, quando si giunse all'interpretazione della meccanica quantistica, non riuscii a convincerlo ed egli non fu in grado di convincere me. Egli diceva sempre: "Bene, sono d'accordo sul fatto che qualsiasi esperimento i cui risultati siano calcolabili per mezzo della meccanica quantistica si rivelerà come tu dici, tuttavia uno schema simile non può essere una descrizione finale della Natura"» [1975*a*, p. 392]. Heisenberg comprendeva bene l'impossibilità di risolvere simili preconcetti fondamentali appellandosi al genere di argomenti che funzionano cosí bene nel determinare il consenso scientifico su altre questioni. Egli aggiunse: «Mi chiedo se la riluttanza di Einstein, Planck, von Laue e Schrödinger ad accettare [le descrizioni della meccanica quantistica come fondamentali] si debba ridurre semplicemente a pregiudizi. La parola 'pregiudizio' è troppo negativa in questo contesto e non descrive la situazione».

Come a dimostrare la verità di questa osservazione, Heisenberg rivelò che, contrariamente alla maggior parte degli scienziati contemporanei, egli stesso non poteva aderire all'orientamento della teoria corrente, che fa della nozione di «particella elementare» un punto di riferimento basilare per la spiegazione. Poiché le particelle elementari (delle quali si dirà ancora in seguito) possono essere prodotte dalla collisione di altre particelle, esse sono invero, secondo Heisenberg, delle complicazioni richiedenti a loro volta una spiegazione, o «per dirla in modo paradossale: ogni particella consiste di tutte le altre particelle». La ricerca di «particelle *veramente* elementari» su cui fondare una teoria della materia «risale alla filosofia di Democrito», ma è un «errore» (o almeno, diremmo noi, un rinvio a un tema a lui inviso).

Il suo impegno era in un'altra direzione: «Cosa deve allora sostituire il concetto di particella fondamentale? Ritengo che si debba sostituire questo concetto con quello di una simmetria fondamentale... E quando avremo veramente compiuto questo cambiamento decisivo... non penso che avremo bisogno di un altro sforzo per comprendere la particella elementare – o piuttosto non-elementare». Altrove Heisenberg chiarí: «La "cosa-in-sé" per il fisico atomico, ammesso che si serva di questo concetto, in ultima analisi è una struttura matematica». Questa è una scelta tematica che allinea Heisenberg alla tradizione pitagorico-platonica: non è possibile costruire la materia a partire dalla materia, ma dobbiamo cercare le fondamenta nei principî formali, matematici [cfr. anche Heisenberg 1975*b*, pp. 229-336 e 556-60; e 1971, cap. XX].

Nonostante la difesa di Heisenberg, è forse prematuro credere che l'antica

contrapposizione tra gli orientamenti democriteo e platonico sia stata composta, oggi, una volta per tutte a favore dell'uno piuttosto che dell'altro. Non ci stiamo qui occupando di enigmi risolubili, ma del materiale grezzo dell'immaginazione scientifica (e non soltanto scientifica). L'identificazione degli elementi tematici nella discussione scientifica è in una certa misura analoga al modo di procedere di uno studioso di folclore o di un antropologo, che presta ascolto alle storie epiche per la loro sottostante struttura e ricorrenze tematiche. Anche se l'analogia lascia molto a desiderare, vi sono relazioni tutt'altro che superficiali. Ad esempio, la consapevolezza delle tematiche, talvolta difese con ostinata lealtà, ci aiuta a spiegare il carattere della discussione tra antagonisti molto meglio di quanto non facciano l'analisi del contenuto scientifico e degli ambienti sociali.

Una scoperta dell'analisi tematica, che sembra collegata alla natura dialettica della scienza come attività di ricerca del consenso, è la frequente associazione di due o tre tematiche in maniera antitetica, come indicato negli esempi che precedono. Coppie antitetiche quali evoluzione e involuzione; costanza e cambiamento; complessità e semplicità; efficacia della matematica (ad esempio della geometria) come strumento esplicativo in contrapposizione all'efficacia dei modelli meccanicisti; e, tra gli altri, differenziazione e integrazione, nel senso sopra accennato.

Stupisce il numero relativamente esiguo dei temi, e dunque la loro antichità e persistenza, pur nell'evoluzione e rivoluzione scientifica. Ad esempio, l'antica antitesi di pieno e vuoto affiorò all'inizio di questo secolo nel dibattito sulla «realtà molecolare»: di fatto la si può ritrovare nell'opera di fisici teorici contemporanei.

La persistenza nel tempo, e la diffusione nella società, in una data epoca, di questi temi relativamente limitati in numero è forse ciò che conferisce alla scienza, nonostante tutti gli sviluppi e i cambiamenti, la sua identità costante. La diffusione delle tematiche nei vari campi disciplinari non è senza significato sia per quel che riguarda le scienze nel loro complesso sia per quel che riguarda quella comunanza d'immaginazione necessaria perché sia possibile un uso cosí vasto e diffuso dei temi.

6. *Analisi/sintesi come differenziazione/integrazione tematica.*

Si concluderà prendendo in esame alcuni esempi del ruolo tematico di «differenziazione» e di «integrazione» nell'attività scientifica e in altri campi.

6.1. Un esempio tratto dalla fisica delle particelle elementari.

Il primo esempio si riferisce, opportunamente, al problema della relazione tra le «particelle elementari» della fisica moderna, e al modo d'integrare in una teoria unificata lo sbalorditivo numero di tali particelle. Questa ricerca è soltanto l'ultimo tentativo di una lunga serie che abbraccia molte rivoluzioni e inebrianti vittorie del passato, sino ai primi scienziati della storia: la preoccupazione

principale è infatti tuttora l'identificazione del costituente fondamentale di cui si presume sia fatta tutta la materia.

In breve da piú parti si sta cercando di scoprire una base comune tra i quattro tipi di interazione («forze») che oggi si ritiene spieghino tutti i fenomeni fisici: l'interazione gravitazionale cui sono soggette tutte le particelle; la forza elettromagnetica che rende ragione dei fenomeni implicanti particelle cariche e dell'interazione della luce con la materia; la forza nucleare «forte» che agisce tra membri dell'ampia famiglia di particelle elementari note come adroni; e l'«interazione debole», postulata per descrivere interazioni a raggio cortissimo di alcune particelle elementari (quali lo *scattering* di un neutrino da parte di un neutrone e il decadimento radioattivo di un neutrone in un protone, un elettrone, e un antineutrino).

Nel 1967, Steven Weinberg di Harvard, e, indipendentemente, Abdus Salam di Trieste, proposero di considerare la forza elettromagnetica e l'interazione debole come essenzialmente connesse. Ciascuno dei quattro tipi d'interazione è stato considerato come il risultato di processi analoghi alla radiazione o assorbimento tra due oggetti interagenti, essendo le particelle irradiate o assorbite caratteristiche per ognuna delle interazioni. I fenomeni elettromagnetici sono quindi dovuti allo scambio del fotone privo di massa, e l'interazione debole è mediata grazie al cosiddetto vettore bosone intermedio (VBI) che, supposto se ne dimostri l'esistenza, dovrà essere estremamente massivo. La proposta di Weinberg era che il fotone con massa nulla e il VBI, di massa assai elevata, siano parenti stretti, che i VBI appartengano in generale alla famiglia dei fotoni, ma acquistino massa (l'aspetto della loro differenza) in quanto associati con gruppi di simmetria di *gauge* spezzata.

Per di piú, anche le interazioni forti sono divenute suscettibili di calcolo con gli stessi metodi utilizzati per le interazioni deboli ed elettromagnetiche. È perciò possibile che le interazioni forti siano determinate per scambio di particelle appartenenti alla stessa famiglia del fotone e del VBI. «Se queste ipotesi saranno sostenute da ulteriori lavori teorici e sperimentali, – afferma Weinberg a chiusura di un recente rapporto [1974], – avremo compiuto un grande passo verso una visione unificata della natura» (trad. it. p. 37).

Si consideri ora l'inizio di questo rapporto di Weinberg con occhi attenti alle tematiche. Quali sono allora alcuni dei concetti tematici, dei temi metodologici e delle supposizioni tematiche inerenti a questa ricerca sui VBI e sul relativo insieme dei membri della famiglia delle particelle fotone-simili?

Alla semplice lettura della prima pagina dell'articolo è possibile catalogare senza difficoltà alcuni dei temi piú evidenti: «Una delle piú tenaci speranze dell'uomo è stata quella di scoprire poche e semplici leggi generali che possano spiegare perché la natura, con tutta la sua apparente complessità e varietà, è fatta cosí come è. Allo stato attuale delle cose il miglior approccio a una visione unificata della natura è una descrizione in termini di particelle elementari e delle loro reciproche interazioni. Tutta la materia ordinaria è costituita proprio da quelle particelle elementari che posseggono sia massa sia stabilità (relativa): l'elettrone, il protone e il neutrone. A queste vanno aggiunte le particelle di massa nulla: il fotone o quanto di radiazione elettromagnetica, il neutrino che ha una funzione essenziale in certi fenomeni radioattivi e il gravitone o quanto di radiazione gravitazionale» [*ibid.*, p. 28].

Quel che colpisce immediatamente è il riconoscimento che «una delle piú tenaci speranze dell'uomo è stata quella di scoprire poche e semplici leggi generali», in modo da ottenere una teoria «unificata». «Unificazione», «sintesi» o «integrazione», con la promessa di una comprensione realizzata grazie a una migliore economia di pensiero: ecco il concetto dominante.

Qual è in questa pagina d'apertura il significato del termine 'elementare'? Alcune frasi dopo lo si definisce nel senso che oggi non esiste «alcuna teoria accettabile che spieghi le particelle elementari in termini di piú costituenti elementari». Un giorno senza dubbio si scopriranno «costituenti ancor piú elementari, chiamati quark»; ma sino ad allora, finché non si sarà riusciti a «frantumare le particelle», queste sono elementari.

La loro caratteristica di essere elementari fissa la direzione globale della spiegazione, che va da queste presunte particelle elementari alle entità antitetiche, cioè complesse (ad esempio nuclei, atomi o materia comune, tutti «composti» di sostanza elementare). L'antichità di tale ricerca, da Talete a Prout a Thomson e fino ai nostri giorni, è evidente. Le particelle elementari sono dunque i veri «atomi» di oggi nel senso dell'ἄτομος greco. Essi rappresentano una componente di un altro trittico di temi, il secondo dei quali è costituito dall'edificio fatto di – e spiegato da – questi atomi o quanta elementari, e il terzo dalla nozione del continuo, l'illimitatamente divisibile.

La lista delle particelle elementari comprende allora l'elettrone, il protone e il neutrone. «A queste vanno aggiunte le particelle di massa nulla: il fotone... il neutrino... e il gravitone» [*ibid.*]. Si tratta evidentemente di un mondo di discontinuità particellare; benché la proprietà ondulatoria intrinseca in tali particelle non venga ovviamente posta in dubbio, essa semplicemente non fa parte dell'immagine che si è imposta all'attenzione ed è diventata dominante.

Il numero e la varietà delle particelle elementari, secondo Weinberg, è «sorprendente». Ma c'è modo di dominare questa varietà: soccorre come tema metodologico l'ordinamento del caos mediante la differenziazione, attraverso i concetti di gerarchia, livelli o categorie. La divisione in quattro categorie (gravitazione, interazione elettromagnetica, interazioni forti e interazioni deboli) non è semplicemente una suddivisione in nicchie di colombaia destinate ad uccelli molto diversi. Esiste in questo caso una reale gerarchia che ordina le sottosezioni, presentando una sequenza di spettri d'interazione, dall'infinito a molto meno di 10^{-14} centimetri.

Già da questo breve abbozzo si può vedere come – secondo Weinberg – «sia stato necessario un certo criterio di unificazione per dare un senso all'universo». Aiutare a rendere comprensibile il mondo come non sarebbe possibile a partire dalle istanze della sola logicità rappresenta in effetti una delle funzioni principali di un tema. «Ci si trova, tuttavia, ancora alle prese col difficilissimo problema di rendere conto della sorprendente varietà di tipi e di interazioni delle particelle elementari» [*ibid.*]. Da un punto di vista metodologico la teo-

ria evoca un piú antico schema di quadruplici categorie, uno schema che ebbe un tale successo da servire a razionalizzare i fenomeni osservabili per circa duemila anni: i quattro Elementi, con la loro gerarchia interna, dal piú leggero al piú pesante, e le loro regole d'interazione. Tuttavia, tra i suoi molti vantaggi, la nuova unificazione o integrazione resa possibile dalla precedente differenziazione o ordinamento gerarchico, sembra indicare l'esistenza di un'identità fondamentale tra due e forse tre delle forze nelle quattro categorie.

La scoperta di tale identità avviene attraverso analogie nel comportamento che ridurrebbero le entità superficialmente diverse ad uno stato in cui avrebbero in comune qualcosa di piú della sola associazione in un ordine gerarchico, in cui sarebbero imparentate oltre che differenziate. Tale ricerca trova una risposta nel ricorso a un termine quasi antropomorfico: la *famiglia* (ad esempio: «Le nostre speranze d'individuare un'identità fondamentale nelle interazioni deboli ed elettromagnetiche ci hanno fatto supporre l'esistenza di una piú ampia simmetria di gauge che riunisca il fotone e il vettore bosone intermedio in una sola famiglia» [Weinberg 1974, trad. it. p. 34]). Questo legame di «famiglia», presente nonostante una «apparenza» di grande diversità – ad esempio la differenza tra la massa nulla del fotone e la massa necessariamente molto elevata del vettore bosone intermedio – è uno strumento esplicativo di prim'ordine nel senso di una maggiore semplicità.

Negli scritti dei fisici delle particelle, una delle idee ricorrenti è precisamente questa – splendida – di gruppi, «famiglie» e «superfamiglie». Le relazioni parentali tra le particelle elementari sono di gran lunga piú profonde che nelle famiglie ad hoc scoperte nella tavola periodica degli elementi o nelle classificazioni di Linneo. Ma l'uso metodologico come strumento di spiegazione non è qualitativamente diverso.

6.2. Un esempio tratto dalla storia della scienza.

Altri esempi dell'uso di differenziazione/integrazione mostreranno come il metodo della manipolazione di entità complesse mediante la differenziazione (risoluzione, riduzione, ecc.) fosse sin dalle origini usato nella scienza moderna. Si ricordi ad esempio, nella seconda giornata del *Dialogo* di Galileo, il passo in cui Salviati e Simplicio discutono sul moto di un oggetto lasciato cadere dalla coffa di una nave in movimento. Simplicio rifiuta la proposta di Salviati di operare una differenziazione tra parti del movimento, risolvendo quest'ultimo in una componente orizzontale e una verticale, la prima per la caduta libera verso il centro della Terra e la seconda con velocità costante nella direzione del moto iniziale. Forse si dovrebbe attribuire la resistenza di Simplicio al presentimento che l'intero metodo di risoluzione e riduzione sia precario e non piú necessario di qualsiasi altro tema metodologico; ovvero che non sia né verificabile né falsificabile e che la sua utilità dipenda tutta dalla qualità e rapidità dei risultati ottenuti.

Come oggi sappiamo, Salviati esagerava. Risolvere il moto dell'oggetto che cade in due componenti allo scopo di comprendere il movimento e le sue cause

è solo il primo passo in una catena praticamente infinita di scomposizioni. Se si desiderano piú particolari sul moto, entrano in gioco altre leggi. La comparsa della forza di Coriolis è responsabile della deviazione verso est dell'oggetto. Le leggi per la caduta dei gravi in mezzi reali con diversi numeri di Reynolds devono intervenire per calcolare l'effetto dell'attrito e della turbolenza. Piú particolari si vogliono conoscere, maggiore diviene il numero di risoluzioni necessarie. Il procedimento sarebbe divenuto infinitamente regressivo se nel nostro secolo non fosse stato inventato un rasoio di Occam per escludere tutti gli effetti collaterali al di sotto di un certo limite. La fisica dei quanta ha fornito un mezzo per por termine ad un'ulteriore differenziazione, grazie al principio d'indeterminazione e alle dimensioni finite della costante di Planck; per la maggior parte dei fisici, essi rendono insignificanti tutti i problemi aggiuntivi. Tuttavia, non ne risulta sminuita l'efficacia metodologica della differenziazione. Come si è già sottolineato, la differenziazione galileiana fu un elemento chiave per l'integrazione newtoniana della scienza.

Si potrebbero aggiungere una profusione di esempi per illustrare il potere e l'onnipresenza, nella scienza e in altri campi, della differenziazione o dell'integrazione. Si faranno solo pochi altri esempi della prima, cosí da sottolineare l'immensa portata della sua forza come tema metodologico.

6.3. Sistemi tassonomici di categorie, livelli o gerarchie.

Questo punto è già stato illustrato nella discussione sull'attuale fisica delle particelle elementari, ad esempio nella divisione delle forze in quattro categorie, e delle particelle in famiglie e superfamiglie. È facile fare altri esempi: dai sistemi di Linneo e Mendeleev (tassonomia priva di connessione nota di sviluppo delle parti) agli «stadi» nella teoria dei cicli vitali di Erik Erikson, o all'epistemologia genetica di Jean Piaget (progresso attraverso stadi sequenziali e causalmente collegati).

Queste sono però le eccezioni. In ogni campo di studio i sistemi tassonomici validi sono una minima parte di un totale in continuo aumento. Nel migliore dei casi, gli schemi gerarchici di questo genere comunicano la convinzione dell'esistenza di connessioni causali e rendono possibili verifiche empiriche, estendendo il campo della conoscenza. Nel peggiore, gli schemi tassonomici producono esattamente l'effetto opposto: in assenza di qualche «principio primo» al quale elevare e dal quale derivare una matrice ordinatrice, essi si limitano spesso a produrre delle nicchie opportunamente etichettate che invitano a disaggregare la vastità incoerente dei possibili oggetti di osservazione. Siccome però tali contrassegni sono stati ottenuti originariamente grazie a una percezione intuitiva di parti comprese nel grande aggregato, il pericolo di un circolo vizioso è ovvio. Si può facilmente finire col dissimulare la propria perplessità distribuendo le singole parti nei vari recessi di una costruzione nobile ma arbitraria.

Un caso particolare di differenziazione mediante tassonomia è la differenziazione per «spettroscopia», quella cioè che avviene quando si dispongono l'una di seguito all'altra le parti presumibilmente *non* interagenti di un insieme, siano

esse assiomi, «tratti», lunghezze d'onda distinte, ecc. Cosí Ernst Mach [1896] espresse la propria speranza di combinare riduzionismo e sensazionismo per trovare sei «elementi» separati in fisiologia: «Dal momento che la varietà apparentemente illimitata delle sensazioni di colore può essere ridotta attraverso l'analisi psicologica (autosservazione) a 6 elementi (sensazioni fondamentali), ci è lecito attenderci una uguale semplificazione per il sistema dei processi nervosi» (trad. it. p. 82). (Egli riteneva in realtà che queste sensazioni fondamentali fossero bianco, nero, rosso, giallo, verde e blu).

La differenziazione mediante spettroscopia pare uno strumento concettuale cosí basilare da sembrare (e probabilmente essere) inevitabile per la mente umana. La semplice elencazione di alcuni esempi ben noti farà presente con quale costanza siamo assaliti dai prodotti di questa strategia: gli stoici dividevano le scienze in fisica, etica e logica (o dialettica); l'opera di Aristotele abbonda in distinzioni: le cause sono efficienti, materiali, formali o finali; il ragionamento dialettico si presenta in due forme: sillogistico e induttivo; le scienze principali sono tre: medicina, meccanica e morale; le unità del linguaggio consentono un trattamento da un punto di vista grammaticale piuttosto che logico; le asserzioni sono necessarie o contingenti; e cosí via.

Le distinzioni medievali tra le parti del trivio e del quadrivio (perduranti ai nostri giorni nella diffusa suddivisione dell'istruzione in scienze naturali, studi sociali e discipline umanistiche) rivelano la stessa ispirazione. Kant è ricco di dicotomie e suddivisioni: egli afferma che i metodi per indagare la natura e la mente sono razionali o empirici; che la filosofia si divide in base all'uso speculativo e pratico della ragion pura; che le facoltà dell'anima sono tre: di conoscenza, di piacere e dolore, e di desiderio; ecc.

John Locke enumera cinque tipi di qualità primarie: «solidità, estensione, figura, movimento e arresto, e numero». Analogamente Isaac Newton ha elencato le «qualità universali di tutti i corpi»: «estensione, durezza, impenetrabilità, mobilità e inerzia». Non è necessario continuare: si sa che è praticamente impossibile leggere una pagina di un testo filosofico o scientifico senza imbattersi in questo tipo di differenziazione.

6.4. Differenziazione mediante dicotomizzazione.

Il caso di differenziazione piú semplice, piú frequente e piú vigoroso è tuttavia la dicotomizzazione. (È anche il piú pericoloso. Wolfgang Pauli considerava le divisioni dicotomiche impresse nel nostro pensiero dalla logica aristotelica come «un attributo del diavolo»). La lista delle categorie dicotomiche è quasi interminabile in ogni campo. Cosí Wilhelm Ostwald distingueva tra scienziati classici e romantici, A. Szent-Gyorgy tra scienziati apollinei e dionisiaci, Carl Jung tra scienziati che si basavano sulle sensazioni e scienziati intuitivi (i primi associati al pensiero riduzionistico, i secondi al pensiero olistico). Gli psicologi hanno scoperto che i giovani compiono per tempo una scelta in favore di una carriera orientata «sulle persone» o «sulle cose».

Una lista casuale dell'enorme numero di coppie antitetiche d'uso costante

comprenderebbe materia/antimateria, animato/inanimato, soggettivo/oggettivo, osservatore/osservato, ordine/caos, struttura invariante parmenidea vs flusso eracliteo, a priori / a posteriori, o/o, piú/meno, sí/no, induzione/deduzione, interno/esterno, macro/micro, formale/funzionale, classico/romantico, sincronico/diacronico, essere/divenire, maschio/femmina, sintetizzatori/frazionatori, sacro e profano, amico e nemico, bene e male...

Il nostro stesso linguaggio sembra costruito in tal modo; quando Peter Mark Roget, medico e segretario della Royal Society, ebbe categorizzato le sue novecentonovantasette idee fondamentali nelle sei grandi classi e ventiquattro sezioni del *Thesaurus* (1852), l'ordine principale che emerse fu la divisione di sinonimi e antonimi: altro segno del fatto che l'approccio binario è insito nelle nostre strutture semantiche. Anche i gruppi tematici sono di solito dicotomici (benché talvolta tricotomici).

L'onnipresenza della dicotomizzazione come forma primaria di differenziazione o analisi – talora sino all'ossessione – può far sí che non ci si renda conto del fatto che a volte la dicotomizzazione non rende giustizia alla complessità del caso. «O/o» può non essere una soluzione ma un nuovo problema, da risolvere con «entrambi», come nella fisica moderna, da quando è stata introdotta la complementarità, che ha reso possibile la *sovrapposizione* di alternative anziché costringere a una scelta. È in questo senso che Bohr – la cui massima favorita era il verso di Schiller, «Nur die Fülle führt zur Klarheit» («soltanto la pienezza conduce alla chiarezza») – concepiva la forza del punto di vista della complementarità. [Cfr. in proposito Holton 1973, cap. IV].

Tuttavia la tendenza quasi automatica alla biforcazione ci fa sospettare che le sue radici affondino nell'ontogenesi o nella filogenesi delle idee, o in entrambe. Gli psicologi dell'infanzia insegnano che una delle prime e piú importanti realizzazioni cognitive del neonato è la dicotomizzazione dell'esperienza totale tra l'io e l'altro, e in seguito l'ulteriore dicotomizzazione tra entità (come su/giú, destra/sinistra, davanti/dietro, ecc.). Sulla stessa linea, Ernst Gombrich ha mostrato come l'apprendimento dei bambini proceda essenzialmente per differenziazione, delimitando costantemente sempre piú l'originaria «massa indifferenziata» [1969, trad. it. p. 123]. Al di là dell'ontogenesi delle idee nei bambini, si è tentati di dire che il bambino stesso nasce dalla ripetuta differenziazione dicotomica di un'unica cellula originaria.

Non è probabilmente un caso che anche le idee cosmogoniche dell'antichità, primissimi tentativi di sintesi culturali, siano piene di resoconti di separazioni evolutive in coppie antitetiche. I primi trentuno paragrafi del libro della *Genesi* sono d'altra parte, dal punto di vista tematico, un resoconto di proliferazione per dicotomizzazione ripetuta. Cosí nel primo giorno si ha la separazione del cielo e della terra, e della luce e dell'oscurità (giorno e notte, sera e mattino). Nel secondo vengono separati il cielo e le acque. Nel terzo troviamo la dicotomia di mare e terra, nonché di animato e inanimato (la terra genera le piante). Nel quarto compaiono la piú grande e la piú piccola delle luci nel firmamento del cielo; nel quinto, due tipi di animali, nell'acqua e nell'aria; e nel sesto, gli animali di terraferma e l'uomo. L'intera sequenza esemplifica il significato les-

sicale della dicotomia: letteralmente, un disgiungere, un separare una classe in due sottoclassi diverse per una determinata qualità o attributo.

Analogamente, l'antico mito cosmogonico milesio sosteneva che al principio emersero, da un'unità primeva, parti di «cose opposte» che piú tardi interagirono o si riunirono in fenomeni meteorici o nella generazione di singoli esseri viventi. La persistenza delle tematiche fondamentali è bene illustrata dal fatto che idee fondamentali del tutto analoghe informano la cosmogonia dei cosmologi moderni d'orientamento evoluzionistico. Secondo una delle loro recenti proposte, l'universo ebbe origine in un'unica «particella» detta universon; immediatamente questa si divise in due simili particelle, cosmon e anticosmon, che si separarono nel nostro cosmo e, altrove, in un anticosmo, ognuno dei quali si condensò in stelle e galassie (o, rispettivamente, materia e antimateria). Entro ognuno di questi mondi la miscela iniziale di radiazione e neutroni, attraverso stadi successivi di differenziazione per espansione e decadimento neutronico, condusse infine alla costituzione di elementi piú pesanti mediante processi di fusione termonucleare, preparando la via per la successiva formazione delle molecole, comprese quelle su cui si fonda la vita. Non è troppo azzardato prevedere che in ogni fase del futuro, indipendentemente dalla rapidità e dalla diversità del progresso della scienza, vi sarà qualche scuola di cosmogonia che continuerà ad usare gli stessi strumenti tematici dell'analisi e della sintesi.

Si è iniziato questo saggio notando l'esistenza di opere che fungono da sintesi culturali. Al pari di altre sintesi, esse sono il risultato dell'azione di entrambi i membri della coppia analisi/sintesi, e rappresentano esse stesse una forma del binomio tematico generale e fondamentale differenziazione/integrazione. Nella loro forza e nei loro limiti risiedono la forza e i limiti delle sintesi culturali. Opere diverse quanto lo possono essere ad esempio quelle di Newton ed Einstein si possono perciò rivelare dotate di somiglianze funzionali fondamentali. Nel nostro esempio, entrambi gli studiosi tentarono di analizzare i fenomeni della luce secondo modelli euristici, e inoltre di unificare i fenomeni della luce e della materia. Di piú, entrambi si preoccuparono dei limiti delle sintesi che avevano realizzato. Se si analizzano non soltanto le loro opere scientifiche pubblicate, ma anche i saggi filosofici e la corrispondenza personale, si scopre ch'entrambi erano insoddisfatti di una costruzione universale fondamentalmente «scientifica», ma aspiravano ad una sintesi ancora piú completa. I loro successi senza pari entro i limiti posti dai problemi stessi, e la loro volontà di superarli, aiutano a comprendere fino a che punto possano giungere le capacità umane e quale sia lo spirito che le anima. [G. H.].

Adler, M. J.
1952 *The Great Ideas: A Synopticon of Great Books of the Western World*, Encyclopaedia Britannica, Chicago.

Bohr, N.
1938 *Analysis and Synthesis in Science*, in *International Encyclopedia of Unified Science*, I, 1, University of Chicago Press, Chicago (trad. it. in O. Neurath e altri, *Neopositivismo e unità della scienza*, Bompiani, Milano 1973).

Buchler, I. R.
1976 Recensione a Hildred e Clifford Geertz, *Kinship in Bali*, in «Science», CXCI, pp. 74-75.

Burtt, E. A.
1927 *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Harcourt Brace, New York.

Descartes, R.
[1628] *Regulae ad directionem ingenii*, in *Opuscula posthuma, physica et mathematica*, Blaeu, Amsterdam 1701 (trad. it. in *Opere*, Laterza, Bari 1967).
1637 *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*, Maire, Leida (trad. it. in *Opere*, Laterza, Bari 1967).

Einstein, A.
1906 *Zur Theorie der Brownschen Bewegung*, in «Annalen der Physik», n. 19, pp. 371-81.
1933 *On the Method of Theoretical Physics*, in Einstein 1954*b*.
1936 *Physics and Reality*, in Einstein 1954*b*.
1949 *Autobiographical Notes*, in P. A. Schilpp (a cura di), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston Ill. (trad. it. Boringhieri, Torino 1958).
1954*a* *Notes on the Origin of the General Theory of Relativity*, in Einstein 1954*b*.
1954*b* *Ideas and Opinions of Albert Einstein*, Crown Publishers, New York (trad. it. Schwarz, Milano 1958²).

Freud, S., e Jung, C. G.
1974 *Briefwechsel*, Fischer, Frankfurt am Main (trad. it. Boringhieri, Torino 1974).

Gellner, E.
1975 *Legitimation of Belief*, Cambridge University Press, London.

Gombrich, E.
1969 *Art and Illusion*, Princeton University Press, Princeton N.J. 1969² (trad. it. Einaudi, Torino 1972²).

Grünbaum, A.
1973 *The Ontology of the Curvature of Empty Space in the Geometrodynamics of Clifford and Wheeler*, in P. Suppes (a cura di), *Space, Time and Geometry*, Reidel, Dordrecht and Boston, pp. 268-95.

Hall, M. B.
1968 *The History of the Concept of Element*, in A. L. Cardwell (a cura di), *John Dalton and the Progress of Science*, Barnes and Noble, New York.

Hegel, G. W. F.
1830 *Encyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*, Oswald, Heidelberg 1830³ (trad. it. Laterza, Bari 1975).

Heisenberg, W.
1971 *Physics and Beyond*, Harper and Row, New York.
1975*a* *Development of concepts in the history of quantum theory*, in «American Journal of Physics», XLIII, 5, pp. 389-94.
1975*b* *Tradition in Science*, in O. Gingerich (a cura di), *The Nature of Scientific Discovery*, Smithsonian Institution Press, Washington.

Holton, G.
1973 *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*, Harvard University Press, Cambridge Mass.
1975 *On the Role of Themata in Scientific Thought*, in «Science», CLXXXVIII, pp. 328-34.

James, W.
1907 *Pragmatism: a New Name for Same Old Ways of Thinking. Popular Lectures on Philosophy*, Longmans, New York.

Krathwohl, D. R.; Bloom, B. S.; e Masia, B. B.
1956 *Taxonomy of Educational Objectives: Classification of Educational Goals, Handbook II*, McKay, New York.

Mach, E.
1896 *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, Fischer, Jena (trad. it. Feltrinelli-Bocca, Milano 1975).

Manuel, F. E.
1974 *The Religion of Isaac Newton*, Oxford University Press, London.

Mises, R. von
1951 *Positivism*, Harvard University Press, Cambridge Mass.

Newton, I.
1704 *Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, Smith and Walford, London.
1713 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Crownfield, Cambridge 1713² (trad. it. Utet, Torino 1965).

Pap, A.
1972 *Elements of Analytical Philosophy*, Hafner, New York 1972².

Popper, K. R.
1965 *Conjectures and Refutations, the Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London (trad. it. Il Mulino, Bologna 1972).

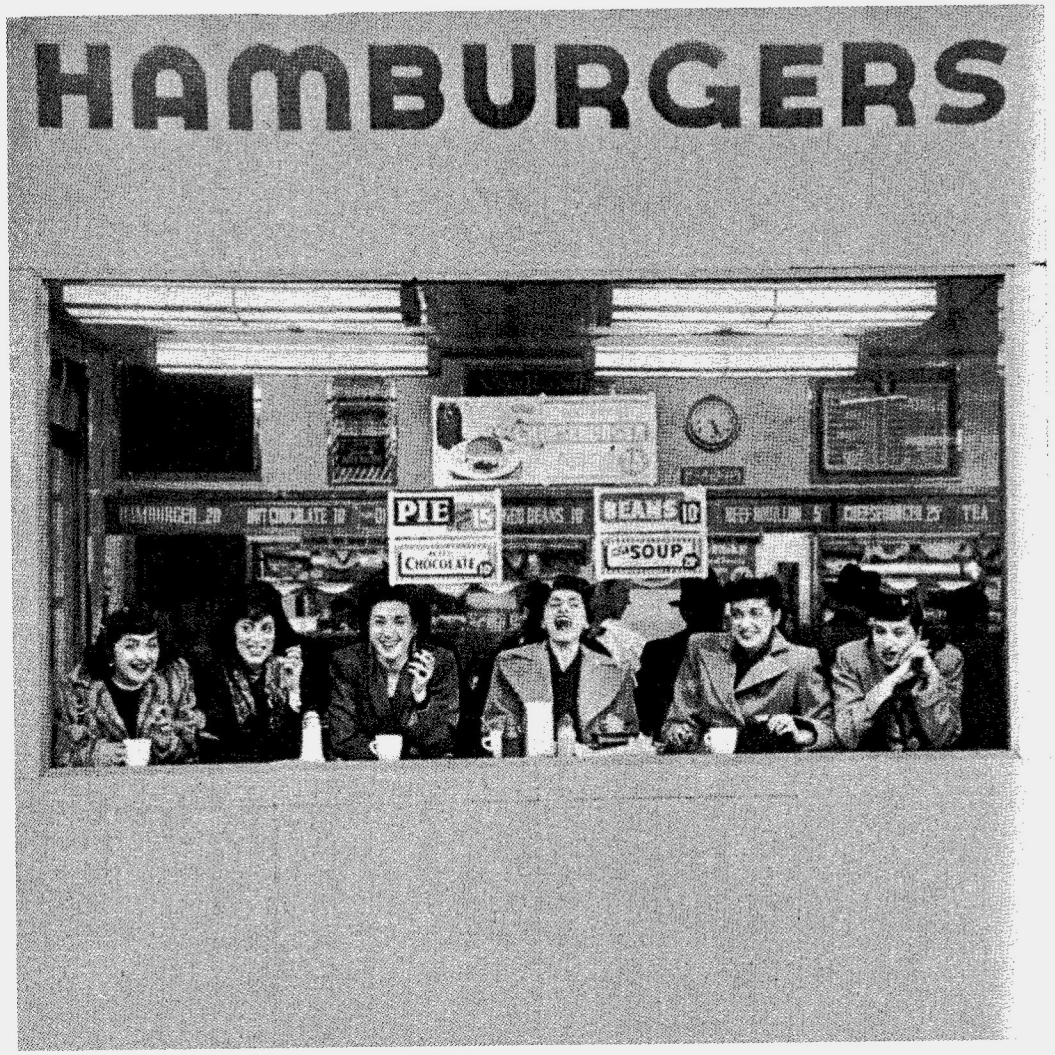
Turbayne, C. M.
1970 *The Myth of Metaphor*, University of South Carolina Press, Columbia S.C. 1970².

Vogt, E. Z.
1970 *The Zinacantecos of Mexico: A Modern Maya Way of Life*, Holt Rinehart and Winston, New York.

Weinberg, S.
1974 *Unified Theories of Elementary-particle Interactions*, in «Scientific American», CCXXXI, 1 (trad. it. in «Le Scienze», n. 75).

Wheeler, J. A.
1962 *Geometrodynamics*, Academic Press, New York.

Tradizionalmente associata alla problematica del **metodo** e ai rapporti tra deduzione e induzione (cfr. **induzione/deduzione**) nonché, dopo Kant, alla teoria del giudizio (cfr. **proposizione e giudizio**), l'opposizione analisi/sintesi fa parte del ristretto complesso di coppie tematiche (cfr. **rappresentazione, coppie filosofiche**) che forniscono il sostrato delle categorizzazioni scientifiche e filosofiche (cfr. **categorie/categorizzazione, scienza, filosofia/filosofie**). I procedimenti di analisi e sintesi possono essere ricondotti alla coppia tematica integrazione/differenziazione (cfr. **identità/differenza, uno/molti**). Nonostante la tendenza a svalutare l'analisi a vantaggio della sintesi, come tende a fare la filosofia (cfr. **idea, unità**) ovvero, come accade di solito nell'attività scientifica, a privilegiare l'analisi (cfr. **invenzione, ricerca**), la persistenza della complementarietà di analisi e sintesi fa supporre che ci si trovi di fronte a una costante la cui radice ultima sarebbe fisiologica (cfr. **cervello**).



28. New York. Fotografia di R. Frank.

Anticipazione

1. *Ambito del problema.*

È legittimo caratterizzare le stimmati di scientificità ritenute piú inconfondibili, – agli occhi di una tradizione che si può far risalire a Bacone, – con l'anticipazione dei risultati delle esperienze a venire e con la neutralità di tali risultati rispetto all'osservatore contingente e alle sue idiosincrasie. L'articolazione stabilita dal metodo induttivo baconiano tra anticipazione dei risultati e generalizzazione di regolarità ripetute era di un'assoluta e costitutiva precedenza della ripetizione sull'anticipazione. Il rischio di guardare i fatti attraverso gli occhiali distorcenti, precostituiti, di un'aspettativa teorica era per gli empiristi un pericolo costante, un'involuzione metodologica, in ultima analisi un regresso a quegli *idola* arcaici, tribali o plebei che la dignità e il progresso delle scienze consentivano infine di accantonare una volta per tutte. Di qui le ripetute raccomandazioni agli uomini di scienza di liberarsi da ogni pregiudizio e di accostarsi ai fatti solo dopo essersi purificati da ogni teoria prestabilita. Con Bacone e la scuola empirista si istituisce una sorta di dogma della percezione neutrale, avente come portato dottrinario un culto per le osservazioni nude, per la mente vergine, per l'occhio innocente e un ricorrente esorcismo delle anticipazioni previe. È in questi termini che prende avvio il secolare problema dell'oggettività della scienza, correlato al piú generale problema della razionalità, e al quale il pensiero contemporaneo ha cercato di dare nuove seppur spesso contrastanti soluzioni. Il «problema di Hume», o paradosso di Hume, di cui si dirà in seguito, constatando al tempo stesso l'inevitabilità delle anticipazioni di fatti ancora non osservati sulla base di quelli osservati, ma escludendo un fondamento razionale per queste pur inevitabili anticipazioni, aprí la strada allo scetticismo, al solipsismo, alle filosofie del «come se». Filosofi contemporanei di orientamento tanto diverso come Bertrand Russell e Edmund Husserl hanno impiegato il termine 'bancarotta' per definire l'operazione filosofica compiuta da Hume sulla economia della razionalità scientifica. Piú cautamente, l'epistemologo Max Black parla di una «sfida» lanciata da Hume a chi riflette sui fondamenti delle scienze positive, sfida che è stata validamente raccolta, tradotta in agguerrite dispute metodologiche e avviata verso soddisfacenti composizioni. Seguire le teorizzazioni successive del concetto di anticipazione significa quindi attraversare il problema dei fondamenti delle scienze lungo un asse obliquo, ma ricco di intersezioni qualificanti con quasi tutti i suoi tratti caratteristici.

Cosí inteso, questo articolo cerca di riunificare sotto un'unica prospettiva le molte connotazioni che la problematica dell'anticipazione ha via via assunto nei diversi campi disciplinari, dalla logica all'epistemologia, dalla psicologia alla sociologia. Le molte connotazioni hanno anche generato un ventaglio di denotazioni distinte, cioè di termini e concetti usati preferenzialmente dai vari

autori entro ambiti particolari. Saranno quindi sussunte sotto anticipazione le diverse sfaccettature del problema espresse da 'aspettativa', 'predisposizione', 'preadattamento', 'pregiudizio' (nel solo aspetto conoscitivo), 'parzialità' (traduzione alquanto libera dell'inglese *bias*, letteralmente: 'polarizzazione, forzatura, incanalamento'). Nella letteratura scientifica, specialmente in linguistica e in psicologia, domina ormai il termine inglese *expectation* o *expectancy*. In filosofia si parla sovente di *belief* o credenza-opinione per indicare le aspettative dettate da sistemi concettuali complessi o da ideologie specifiche. Entro lo schema esplicativo darwiniano si tende a razionalizzare in termini di preadattamento un incontro di mutue compatibilità tra organismo e ambiente. S'impiega infatti sovente il termine di preadattamento o precondizione, come razionalizzazione a posteriori, quando due o piú sistemi evolvono per dinamiche autonome, non deterministicamente collegate, ma tra loro compatibili ai fini di una riunificazione successiva. Recenti sviluppi della biologia teorica hanno permesso di formulare criteri rigorosi per distinguere tra catene di eventi casuali tra loro indipendenti, ma compatibili, e vasti sistemi di interazioni governati da un finalismo interno. Il concetto di anticipazione o preadattamento deve essere impiegato con presupposti diversi in questi due ordini di fenomeni. Ciò esula comunque da questo articolo, come anche i concetti di potenziale anticipato (o ritardato). Un certo svolgimento del problema dell'anticipazione nei sistemi biologici sarà presentato nei paragrafi seguenti, ma senza una trattazione generale delle risposte anticipatrici indotte nel comportamento. Si tratterà qui essenzialmente dell'anticipazione come fondamento della conoscenza.

2. *Anticipazione, opinione e conoscenza certa.*

Innumerevoli sono gli antidoti prescritti, da Aristotele ai giorni nostri, contro l'infiltrazione della δόξα o opinione soggettiva nella ἐπιστήμη o conoscenza certa. Ci si soffermerà qui su una «terapia» moderna, assai diffusa nei laboratori scientifici, correntemente praticata nella sperimentazione farmacologica sull'uomo. Si tratta del metodo della doppia occultazione o «doppio cieco» (*double blind*), tendente ad eliminare le suggestionabilità del paziente e le interpretazioni soggettive del terapeuta riguardo agli effetti di un farmaco nuovo o di una cura complessiva in via di perfezionamento. Le istanze pianificatrici centrali (amministrazione ospedaliera, istituti di sanità, laboratori farmaceutici, primari ospedalieri o direttori di reparto) coordinano una serie di sperimentazioni controllate su un gruppo di pazienti, scelti con criteri di accurata campionatura statistica, ciascuno dei quali riceve una ed una sola di due terapie alternative: il farmaco sotto sperimentazione (o l'insieme dei farmaci coordinati), ovvero un preparato del tutto innocuo, e certamente inefficace, detto placebo, in tutto simile al farmaco vero, per volume, apparenza esteriore, modo e ritmi di somministrazione.

La doppia occultazione, che altro non è se non una raffinata macchina contro le anticipazioni, consiste nel tenere sia il paziente che il personale medico di

assistenza diretta completamente all'oscuro sulla natura della cura, sugli effetti previsti, sulle possibili conseguenze collaterali e secondarie e sulla vera natura di ciò che viene in ogni singolo caso somministrato, cioè se il farmaco o il placebo. Si intende in tal modo garantire l'assoluta neutralità nell'osservazione clinica e nel vaglio delle testimonianze soggettive dei pazienti. La doppia cecità locale, del paziente e del medico, dovrebbe garantire la piena luce oggettiva sull'esperimento al livello globale. I pianificatori centrali, unici a sapere esattamente e per ogni caso come correlare tutti i dati delle cartelle cliniche, potranno filtrare gli effetti statisticamente probanti dalle fluttuazioni. Esistono su questo stile di sperimentazione molteplici e gravi interrogativi di ordine etico e deontologico [Fried 1974] che non possiamo qui esaminare, ma esistono anche problemi di ordine strettamente epistemologico, quanto mai centrali nell'intera problematica dell'anticipazione. È indubbio che una maggiore coerenza di valutazioni cliniche è resa possibile dal metodo del *double blind*, come è anche indubbio che il metodo consente di discriminare tra variabili occasionali e correlazioni significative, di normalizzare le sensibilità individuali e di quantificare i rapporti tra dosi e risultati. È però illusorio pretendere di aver cosí conseguito una assoluta oggettività e di aver eliminato le suggestionabilità. Le anticipazioni, eliminate quelle dei pazienti e del personale sanitario subalterno, si accentrano e si congelano a monte della sperimentazione; l'istanza giudicante centrale ha imposto le proprie aspettative su scala piú vasta. L'interpretazione dei dati e la valutazione finale, per quanto oculate e finemente fattorizzate, si fonderanno su un confronto tra anticipazioni e osservazioni, né potrebbe essere altrimenti. Piú che di eliminazione delle aspettative si può qui parlare di una loro amplificazione e normalizzazione. L'interrogativo resta aperto sul se e quando confrontare statisticamente dati «ciecamente» raccolti in base ad aspettative formulate altrove, piuttosto che valutare complessivamente delle relazioni aspettative/osservazioni localmente costituitesi all'atto della raccolta dei dati. Sarebbe scorretto metodologicamente pretendere che la coerenza della sperimentazione ne guadagnerebbe; ad un certo livello è ovvio che il metodo della doppia occultazione è piú probante. Questo, però, mostra quanto carente sia ancora l'epistemologia e quanto incerti appaiano i rapporti tra anticipazione e osservazione al livello del singolo ricercatore. Un ridimensionamento della portata metodologica di questa strategia, presentata qui perché di interesse attualissimo e perché una delle piú coerenti nel suo genere, registra la piú generale disillusione sui principî canonici dell'empirismo scientifico e sulla dicotomia consacrata da Bacone tra il buon metodo scientifico (*interpraetatio Naturae*) e il cattivo inclinare del soggetto ai suoi pregiudizi (*anticipatio mentis*). Che una osservazione abbia senso solo in rapporto ad una aspettativa teorica, che essa non potrebbe nemmeno esser concepita senza la motivazione teorica previa, che tra anticipazione ragionevole e pregiudizio cieco sia possibile fare una distinzione operativa, è oggi il risultato di una colossale chiarificazione epistemologica. Ristabilire il ruolo prioritario delle anticipazioni sulla sperimentazione ha significato liberare la filosofia delle scienze dal terrorismo induttivista (in nome del quale, ad esempio, Darwin si vide

confutata la scientificità della teoria dell'evoluzione), liberare la psicologia dal comportamentismo e dall'associazionismo, la linguistica dall'imitazionismo. Si può perfino parlare di un «raddrizzamento» della filosofia delle scienze, poggiantesi adesso sui piedi delle anticipazioni e non piú sulla testa dei bruti dati di osservazione. Un ribaltamento, quasi un'inversione ottica di tipo «camera oscura», era stato effettuato a scapito dei fondamenti della conoscenza. Profonde revisioni filosofiche e gli sviluppi delle scienze biologiche e psicologiche hanno, autonomamente, ma convergentemente, reso possibile questo ribaltamento. Come esso sia avvenuto e quali errori abbia contribuito a correggere si cercherà ora d'illustrare facendo perno sull'opera filosofica di Karl R. Popper, il teorico forse piú organico dell'anti-induttivismo e una delle figure centrali dell'epistemologia degli ultimi decenni.

Il rilievo dato in questa voce alle posizioni di Popper non è dettato da una volontà di privilegiare la sua a detrimento delle epistemologie alternative o correttive costruite negli ultimi decenni. L'impulso dato da Popper al rinnovamento del dibattito sul metodo scientifico è universalmente riconosciuto e generalmente apprezzato; molti dei suoi stessi critici, specialmente Kuhn, Lakatos ed Elkana, considerano i loro lavori come un prolungamento, una estensione e un approfondimento della filosofia delle scienze di Popper. Si ritiene qui che la loro epistemologia fornisca al momento attuale una chiave piú valida del falsificazionismo popperiano per comprendere i modi, i ritmi e le forme dello sviluppo scientifico nel suo complesso. L'aver sottolineato la teoria dell'anticipazione formulata da Popper non è quindi sintomo di una speciale affinità selettiva, ma piuttosto l'attuazione di un criterio di minima esigenza per la validità degli assunti, una sorta di «rasoio di Occam». Le argomentazioni, come gli enti, non devono essere moltiplicate piú del necessario. Popper si ritiene ed è ritenuto il piú razionalista e il piú assolutista dei nuovi epistemologi; se già in Popper l'anticipazione viene investita di un ruolo costitutivo e prioritario nell'acquisizione delle conoscenze scientifiche, ai nostri fini la sua analisi è sufficiente. La dominante teoretica nell'osservazione, l'inerzia degli a priori e dei presupposti, il precondizionamento concettuale dello sperimentatore hanno ricevuto dai nuovi epistemologi una patente di assai piú vasta circolazione che non in Popper. Per taluni scienziati e filosofi della scienza, tuttavia, Kuhn, Lakatos, Elkana e soprattutto Feyerabend si sono spinti troppo oltre nel territorio del relativismo culturale e del sociologismo epistemologico. Non è questa la sede per esaminare i complessi e mutevoli contorni di tale dibattito; ciò che importa precisare è che, perfino entro il quadro di un razionalismo ortodosso come quello di Popper, dove l'epistemologia è una, necessaria, universale e non dipendente dal contesto storico e sociale, l'anticipazione precede l'osservazione. Per Kuhn, Lakatos ed Elkana addirittura l'anticipazione può, se sorretta da un eccessivo rispetto per la tradizione e l'autorità, occultare la falsificazione, impedire di accedere alla falsificazione e a nuove teorie, screditare come pseudoscienza o antiscienza le pratiche sperimentali che contraddicono le teorie del momento. Ai fini di questo articolo, date le accuse di «irrazionalismo» talvolta formulate a carico di questi filosofi della scienza (accuse il

piú delle volte ingiuste e frutto di equivoci), si è ritenuto sufficiente centrare l'esposizione su Popper, cioè sul piú «classico» e il piú largamente accettato degli anti-induttivisti. Ulteriori estensioni del ruolo dell'anticipazione non hanno incontrato sufficiente consenso e in alcuni casi sembra innegabile che esse abbiano francamente degenerato in uno sterile relativismo o in riedizioni del convenzionalismo.

3. *L'anticipazione e la critica dell'empirismo.*

In un suo scritto recente, l'articolo intitolato *The Rationality of Scientific Revolutions*, Popper afferma che un osservatore neutro della natura non esiste, in quanto «perfino il collezionare farfalle è impregnato di teoria (*farfalla* è un termine *teorico*, come anche acqua: esso implica un insieme di aspettative)» [1975, p. 97 n.]. Rendendo in tal modo trasparente, quasi paradossale, e certamente provocatorio il punto di vista filosofico espresso in tutti i suoi scritti nell'arco di quarant'anni, Popper intende sbarazzare la filosofia delle scienze dal mito dell'osservatore puro, del dato primordiale oggettivo. Un'osservazione scientifica deve essere pro o contro una data anticipazione, altrimenti non è scientifica e, al limite, non è nemmeno un'osservazione. Il problema precede l'evidenza sperimentale che su di esso può dire qualcosa e non viceversa. Il primo stadio è sempre il formarsi delle anticipazioni (*expectations*) a partire dall'organizzazione geneticamente innata della percezione e dalle regolarità osservabili, grazie a questa e grazie alle anticipazioni primitive ad essa associate, nella congerie quasi indistinta delle cose. Le anticipazioni trasformano cose che succedono in esperienze che si hanno, le esperienze generano problemi, quindi nuove anticipazioni. Queste anticipazioni di livello superiore conducono a delle teorie provvisorie e, a questo punto, si può costruire una vera osservazione sperimentale. Solo ora ha senso parlare di una prova dei fatti, perché prima si potevano forse vedere dei fatti (in un senso piuttosto banale), ma certamente non trarre da questi delle prove. Ogni teoria provvisoria, confrontata a quei fatti sperimentali che sono massimamente informativi per saggiarne le previsioni, sarà lasciata in vita *provvisoriamente*, se vi è accordo, oppure *definitivamente* refutata se un netto disaccordo si presenta anche per un singolo caso qualificante. Mille conferme lasceranno la teoria in vita solo fino alla mille e unesima esperienza critica, e cosí via, mentre una sola prova contraria, se veramente solida, basterà a refutare definitivamente la teoria [Popper 1935 e 1959, 1969, 1972]. Tra verificabilità e falsificabilità vi è un'asimmetria irriducibile.

Lo schema di Popper è: $P \rightarrow TP \rightarrow ES \rightarrow P$. Cioè un processo ricorsivo ed autocorrettivo attraverso il quale si parte da un problema P per costruire una teoria provvisoria TP (*tentative theory*) o ipotesi, passandola poi al vaglio dell'evidenza sperimentale ES, la quale concerne anche teorie alternative attinenti allo stesso problema, infine si opera una scelta tra le teorie simultaneamente plausibili, ritenendo quelle che spiegano allo stesso tempo il massimo

numero di fenomeni, oppure si procede ad una riformulazione del problema P e si imbocca di nuovo, ricorsivamente, lo stesso itinerario. Questa sinossi, forse un po' troppo schematica, dell'epistemologia di Popper, era indispensabile per situarvi il posto assegnato alle anticipazioni. Egli nega, come si è già visto, l'esistenza di conoscenze di pura osservazione, non contaminate (*untainted*) da anticipazioni o da teorie. La conoscenza certa non è quindi l'opposto dell'opinione, ma la paziente costruzione critica di opinioni falsificabili. L'affermazione di Popper, che ogni organo di senso è portatore di anticipazioni geneticamente innate, trova nella neurofisiologia la migliore convalida, come si esporrà nel paragrafo seguente. Prima, però, di procedere a un riscontro sperimentale del quadro tracciato da Popper, converrà situarlo storicamente nella tradizione che lo ha preceduto e contro la quale, in buona parte, egli ha polemizzato.

L'anatema lanciato da John Locke contro coloro che si affidano alle immediate anticipazioni della mente («Men give themselves up to the first anticipations of their minds» [cit. in Popper 1969]) può giustificarsi se riferito ad una corte di giurati, ma cade a vuoto nei laboratori scientifici. Se un certo ideale astratto dell'induzione e della oggettività libera da anticipazioni previe ha resistito fino ai nostri giorni, le ragioni non sono tanto da ricercare nella natura dei processi conoscitivi che si tende a regolamentare, quanto nelle strategie operanti in stili di conoscenza che esso aborrisce. La rappresentazione invertita: prima l'osservazione vergine, poi la costruzione di aspettative, cioè il ribaltamento baconiano tra esperienza e anticipazione, riprodotto in seguito nei santuari scientifici, trae le sue motivazioni nelle ideologie fino ad allora operanti: l'*ipse dixit* della scolastica e la dottrina platonica delle idealità. Nel cannocchiale puntato da Galileo sui satelliti di Giove ci si rifiuta di guardare in nome di un'aspettativa fossilizzata sui testi. La nuova filosofia invece fa della Natura il suo testo e delle matematiche la sola guida alle anticipazioni. L'esortazione sembra essere per un moto «alle cose stesse», ma sembra solo, dato che la lettura dei caratteri matematici del «gran libro della Natura» è tutt'altro che scevra da presupposti e da aspettative. È sintomatico che, quando in tempi recenti il tentativo di andare alle cose stesse sarà rinnovato dalla fenomenologia, la fondazione galileiana delle scienze verrà criticata proprio su questo punto. Sarebbe fuori luogo addentrarsi qui nella complessa problematica della «riduzione» fenomenologica husserliana e analizzare il concetto ivi centrale di anticipazione, ma non è privo di interesse ricordare questa particolarissima e rigorosa attuazione dell'ideale della percezione «pura», portato fino in fondo dai fenomenologi, non tanto come ricerca di un fondamento delle scienze sperimentali, bensí come sistema filosofico *alternativo* alla scienza e radicalmente critico dell'asservimento, vero o supposto, di questa ai fini tecnico-pratici. Vi si ritornerà brevemente in un paragrafo successivo, esaminando i rapporti tra anticipazione e filosofie dell'a priori. Una volta, dunque, inaugurata dalla fisica galileiana la svolta del naturalismo e presentata questa come una battaglia tra l'evidenza dell'osservazione e i pregiudizi delle scritture, la dottrina delle scienze si articolerà lungo una dorsale di opposizione tra l'empirismo inglese (Bacone, Locke, Berkeley, Hume e piú tardi John Stuart Mill) e il razionalismo classico continentale (Descartes, Spinoza, Leibniz). Il primo attribuiva all'osservazione vergine quel ruolo di fondamento ultimo della conoscenza che il secondo, invece, attribuiva all'intuizione di essenze concettuali chiare e distinte. L'anticipazione empirico-induttiva è locale, di corto raggio (n osservazioni identiche ripetute autorizzano a prevedere, *caeteris paribus*, il risultato della $n+1$-esima) e a valle dell'astrazione generalizzante. L'anticipazione razionalistica è globale (il dio di Laplace, conosciuto lo stato dell'universo al tempo t, ne anticipa con esattezza ogni stato futuro), infinita nelle due direzioni del passato e dell'avvenire, generata dall'interno incasellando con ordine la riflessione e l'intuizione. In un caso tutta la struttura e l'ordine sono dalla parte del mondo sensibile esterno, nell'altro l'ordine e la chiarezza sono i principî autogeni dell'intelletto, garantiti, in ultima analisi, da una parcella di essenza divina. Tanto l'empirismo che il razionalismo fanno appello ad una mediazione esterna tra l'ordine delle cose e l'ordine della ragione e l'autografo di questa mediazione è, nei due casi, di calligrafia divina. La struttura e la funzione della mediazione sono, però, ad un'analisi attuale, per noi piú importanti del supposto autore, in quanto le stesse esigenze di mediazione si possono riscontrare oggi ipostatizzate in supporti del tutto «laici» e decisamente materialistici: di volta in volta, nel patrimonio genetico, nel processo evolutivo per selezione e mutazione, nella struttura cerebrale, nei modi di produzione culturale, ecc.

L'empirismo doveva fare appello ad una mediazione associativa tra dati sensoriali ed invarianti relazionali, indispensabile per poter decollare dal livello dei puri atomi percettivi e raggiungere quello delle astrazioni generalizzatrici. Le strutture, supposte esterne all'intelletto, risultavano necessariamente disintegrate in unità percettive semplici per poter passare attraverso la «porta dei sensi», poi ricombinate e ricomposte da associazioni, associazioni di associazioni e cosí di seguito. L'intero processo non darebbe alcuna garanzia razionale di fedeltà alla struttura esterna originaria se non si facesse appello ad un mediatore capace di vedere l'una e l'altra e capace di rendere congruenti le rappresentazioni. L'anticipazione induttiva si sposa con la realtà attraverso questa mediazione associativa che se ne porta garante. Hume, rimettendola in discussione, scompaginò l'intero edificio empirista.

Il razionalismo, invece, deve fare appello ad una mediazione discriminatrice, dissociativa, necessaria per garantire che il vero e il falso, per intima essenza opposti ed incomponibili, non siano mai simultaneamente presenti e sovrapposti quando si offrono allo sguardo dell'intuizione. Spinoza, nel celebre scolio alla proposizione 43 dell'*Ethica ordine geometrico demonstrata* [1677], lo descrive metaforicamente: «Certamente come la luce manifesta se stessa e le tenebre, cosí la verità è norma di se stessa e del falso» (trad. it. p. 173).

In quest'orizzonte razionalista è un'anticipazione certa che non s'incontrerà mai, per esempio, una circonferenza quadrata, perché l'intuizione mostra la necessaria ed irriducibile contraddizione nei termini. Anche il criterio leibniziano delle verità di ragione come relazioni valide in ogni mondo possibile è

in fondo una normatività delle anticipazioni: bisogna attendersi sempre e in ogni situazione, reale o ipotetica, che la somma degli angoli interni di un triangolo sia uguale ad un angolo piatto. La diretta intuizione delle relazioni geometriche necessarie basta ad anticipare ogni possibile risultato. L'avvio dato da Leibniz al calcolo delle probabilità perfeziona lo svuotamento dell'aspettativa e la riduzione dell'incertezza a calcolo provvisorio di verità. Come scriverà Kant, si costituisce «una geometria o una aritmetica delle congetture» e su di essa si basa un *calculus probabilium*, il quale «non contiene giudizi verosimili, ma giudizi del tutto certi sul grado della possibilità di certi casi in date condizioni uniformi» [1783, trad. it. p. 182]. Del periodo postkantiano si tratterà in seguito; ciò che importa sottolineare nello sviluppo storico coerente del razionalismo è il prezzo pagato per insediarsi in una definitiva bipartizione tra verità necessarie e congetture, effettuando una riduzione delle anticipazioni a pure leggi deduttive, dissolvendo l'indeterminazione in un calcolo di contingenze normalizzate, fino alla logica modale e alle tendenze assiomatiche del calcolo probabilistico. Il prezzo è un crescente divario tra teorie formali e pratiche scientifiche, il disseminarsi di filosofie «finzionalistiche», convenzionalistiche, di miti spontaneisti e neoromantici sull'ineffabilità della creazione scientifica, sul «genio matematico». La scienza si è vista spaccata in due fasi incommensurabili: il momento imprendibile e imprevedibile della «grande idea», seguito o preceduto dal grigiore del metodo standard di verifica sperimentale. Contro lo scetticismo di Hume e contro l'esasperazione del razionalismo, la nuova epistemologia, che fa capo a Popper anche laddove ne corregge certe posizioni estreme, ha operato una critica razionalista dello stesso razionalismo, ne ha corretto il tiro, ne ha smascherato certe pretese. La rivalutazione del ruolo fondatore delle anticipazioni è stata una componente centrale. I paragrafi seguenti di questo articolo si propongono di mostrarlo partendo innanzitutto dallo sviluppo che la problematica ha avuto nelle scienze biologiche e psicologiche.

4. *Le anticipazioni biologicamente determinate.*

Con l'affinarsi delle tecniche di sperimentazione biologica e in particolar modo con gli sviluppi della microfisiologia del sistema nervoso, in grado di registrare risposte specifiche di singoli neuroni, si è potuta verificare l'esattezza dell'affermazione metodologica di Popper «non vi è organo di senso in cui non siano geneticamente incorporate teorie anticipative» [1972, trad. it. p. 101]. Senza affrontare il problema delle strutture e del funzionamento dei ricettori sensoriali e dell'integrazione corticale, in questa sede ci si limiterà a descrivere brevemente alcuni risultati della neurofisiologia che si riferiscono direttamente alla tesi di Popper. Impiantando dei microelettrodi nell'area visiva della corteccia cerebrale del gatto, Hubel [1963] e Hubel e Wiesel [1962] a Harvard, Barlow e Pettigrew [1971] a Berkeley (Cal.), Blakemore e Cooper [1970] a Cambridge, hanno dimostrato l'estrema specificità innata delle risposte di singoli neuroni a

forme geometriche e a direzioni di movimento ben precisi quando essi vengono presentati nel campo visivo.

Analoghi esperimenti sono stati effettuati sulla seppia [Young 1973], sul coniglio [Mize e Murphy 1973], sulla rana [Maturana, Lettvin, McCulloch e Pitts 1959], mostrando che, a prescindere dalle diverse caratteristiche proprie ad ogni specie, sulle quali non è qui il caso di soffermarsi, esistono dei filtri percettivi geneticamente determinati. Una cellula nervosa programmata per registrare linee verticali registrerà solo linee verticali, ogni altra forma presente nel campo visivo sarà letteralmente invisibile per questa cellula. Lo stesso per i recettori specifici di linee orizzontali, spezzate, di angoli, di movimenti rettilinei o a zig-zag. In un mondo artificialmente allestito in laboratorio e privo di una di queste forme caratteristiche (ad esempio un cilindro sul quale sono dipinte solo righe verticali) l'animale svilupperà un sistema nervoso impoverito; tutti i recettori degenereranno, diverranno cioè inattivi, eccetto quelli deputati alla registrazione di linee verticali. Il gattino allevato in questo «ambiente» geometricamente specializzato, una volta divenuto adulto, sarà percettivamente specializzato, cioè mutilato delle sue potenziali capacità visive, eccetto quelle selezionate dalla geometria particolare del cilindro nel quale è cresciuto. In un celebre articolo, suggestivamente intitolato *What the frog's eye tells the frog's brain*, Maturana, Lettvin, McCulloch e Pitts [1959] dimostrano che l'apparato visivo della rana letteralmente «vede» solo macchie scure muoventisi in modo erratico. L'animale è geneticamente dotato di un sistema di registrazione percettiva sintonizzato sulla *Gestalt* «insetto che vola»; un piattino colmo di mosche morte è per la rana strettamente invisibile, l'animale morirà di fame a pochi centimetri da questa abbondante fonte alimentare, per lui invisibile, in una situazione paradossale che ricorda le allegorie dei poeti provenzali, «je meurs de soif auprès de la fontaine». Filtri percettivi geneticamente innati sono presenti anche nell'uomo, come è apparso evidente in recenti esperimenti di riconoscimento di suoni nei neonati. Già poche settimane dopo la nascita, anzi addirittura pochi giorni dopo, l'apparato uditivo umano è predisposto a discriminare selettivamente infime differenze tra particolari classi di suoni, ad esempio la distinta pronunzia delle consonanti pure *p*, *t*, *k*. Nessuna discriminazione sarà invece effettuata, né dal neonato, né da un adulto, tra suoni anche molto diversi tra loro, ma prodotti in modo «innaturale», cioè non inclusi nelle possibilità di fonazione o repertorio fonetico di alcun linguaggio umano. Il procedimento è semplice e non traumatico [Eimas e altri 1971; Mehler e altri 1976]; la risposta del neonato viene misurata sulla base della frequenza e dell'intensità di suzione attraverso una tettarella connessa ad uno strumento di registrazione. La ripetizione di uno stesso suono genera rapidamente uno stato di «disinteresse» nel neonato, ed i livelli di frequenza e di intensità di suzione decrescono. Un suono «nuovo» induce uno stato di attenzione e di stimolazione, facendo aumentare di nuovo i livelli. Gli apparecchi di sintesi elettronica dei suoni possono inviare su un altoparlante una gamma continua e graduale di «sfasature» tra i formanti di base dei suoni, tanto in modo diretto, o naturale, tanto in modo invertito o innaturale. Sia il neonato

che l'adulto avvertono questa trasformazione progressiva e continua delle relazioni di fase come una serie di «salti» (da cui il nome di «percezione categoriale» dato a questo fenomeno) se essa avviene nel senso naturale, cioè producendo consonanti del normale repertorio fonetico (*p*, *t*, *k*). Benché si possa passare per piccole sfasature identiche da un estremo all'altro dello spettro fonetico, l'orecchio umano, fin dalla nascita, percepisce nette e brusche differenze; nel caso indicato, prima la consonante pura *p*, poi ad un tratto la consonante pura *t* e poi *k*. Questo nonostante il passaggio sia avvenuto in modo perfettamente uniforme e progressivo. Nessuna discriminazione viene effettuata per i suoni invertiti o «innaturali», e in questo l'adulto è altrettanto poco sensibile che il neonato. I suoni vengono registrati, – all'adulto essi appaiono come una sorta di cinguettio indistinto, – ma non «elaborati» in termini di differenze e di rapporti. L'organizzazione innata degli organi di senso è perciò nell'uomo altamente specifica, caratteristica della specie, e in certi casi pronta a funzionare alla nascita. Si tornerà piú oltre sulla formazione di aspettative rese possibili da questa organizzazione.

Un interessante esempio di controllo sperimentale della formazione di anticipazioni percettive è stato messo in evidenza, nel gatto, dal neurofisiologo Roy E. John [1972], al Medical College di New York. Un'organizzazione funzionale specifica delle onde elettriche cerebrali nel cortex precede un dato tipo di risposta comportamentale. Condizionando l'animale a reagire ad uno stimolo intermittente, acustico od ottico, di frequenza fissa, con un dato comportamento, ad esempio premere una leva, è possibile poi far variare la frequenza dello stimolo ed ottenere una diversa risposta. Si ottengono delle associazioni univoche tra tipo di stimolo e tipo di risposta. Uno stimolo con frequenza *a* susciterà la risposta condizionata di premere la leva A; uno stimolo con frequenza *b* l'analoga, ma distinta, risposta di premere la leva B. Un fascio di microelettrodi impiantati in differenti regioni cerebrali trasmette ad un opportuno apparecchio di registrazione un «profilo» di onde cerebrali che si è rivelato caratteristico per ogni particolare tipo di risposta. Ciò che conferisce al tracciato elettroencefalografico la sua specificità sono i rapporti di fase tra le onde delle diverse regioni cerebrali interessate. Sia A il profilo complessivo dei rapporti di fase relativi allo stimolo *a* e alla risposta «premere la leva A», B l'analogo profilo per lo stimolo *b* e per la risposta «premere la leva B». Con il metodo del «doppio cieco» (cfr. § 2) Roy E. John si accertò che altri ricercatori, ignari del tipo di esperimento in atto, erano capaci di riconoscere senza errore il profilo elettroencefalografico A rispetto a quello B e di anticipare la reazione o risposta del gatto in ogni caso. I profili erano dunque effettivamente rappresentativi dell'uno o dell'altro «stato mentale» dell'animale, in modo alternativo e non ambiguo. Ora, l'organizzazione del profilo precede la risposta «premere la leva», e segue lo stimolo corrispondente. Gli stati mentali A e B anticipano il comportamento e, siccome le aree cerebrali interessate non sono aree motrici, cioè non sono deputate al comando muscolare, ma sono aree di integrazione corticale superiore, è legittimo interpretare i profili come indicativi di una «decisione» di agire nell'uno o nell'altro modo. Una ulteriore e brillante conferma di questa

interpretazione fu fornita dal fatto che, inviando all'animale uno stimolo nuovo, intermedio tra i soli due stimoli che aveva sino ad allora ricevuto (cioè, banalmente, un segnale a frequenza fissa data dalla media aritmetica dei primi due), dopo un lungo periodo di «disorientamento», cioè dopo una serie di stimoli seguiti da profili erratici e non riproducibili, da nessuna risposta o da risposte atipiche, ad un tratto apparve netto il profilo A, o il profilo B; circa al 50 per cento A e al 50 per cento B, ma nessun profilo misto o erratico. Lo stimolo, si noti, era sempre quello «nuovo», cioè a frequenza media. Il gatto di Roy E. John aveva dunque «deciso» di decodificare lo stimolo nuovo secondo l'uno o l'altro stato mentale precedente; si assiste all'insorgere di aspettative categoriali per affrontare un fatto nuovo. Questo è probabilmente il caso piú illuminante dei meccanismi neurofisiologici di base nella formazione delle aspettative. Infatti, Roy E. John ha anche potuto osservare che il profilo caratteristico di un evento «atteso», ma che non si verifica nella realtà, può essere registrato dagli apparecchi. Il profilo delle onde cerebrali è identico a quello della «percezione» dell'evento quando esso accade effettivamente.

Si può concludere questo paragrafo citando i casi di associazione innata o modulata dall'apprendimento tra stimoli distinti, convogliati da canali afferenti diversi. Il fenomeno che in psiconeurologia è stato indicato come «onda di aspettativa» (*expectancy wave*) consiste in una propagazione di onde contingenti negative, cioè nel trasformarsi di uno stato di aspettativa in una particolare regolazione dell'attenzione, con segnali partenti dalle zone frontali della corteccia cerebrale e che si diffondono sul resto della corteccia e, attraverso le fibre discendenti, alle zone basali. Le strette relazioni tra attenzione e anticipazione sono state oggetto di numerosissimi lavori sperimentali. Le conclusioni sono semplici nella loro formulazione di insieme e abbastanza intuitive: la formazione di anticipazioni interferisce negativamente con i meccanismi attenzionali, cioè la soglia attenzionale si eleva di fronte a percezioni ripetitive, scontate, «anticipate». È la novità che stimola l'attenzione, non la conformità alle aspettative. I rapporti non sono però cosí semplici nella teoria dello sviluppo cognitivo e nelle teorie dell'apprendimento, come si vedrà nel paragrafo seguente.

Assicurata una solida base sperimentale alla tesi di Popper, si può comunque passare ad analizzare una sua conclusione: «Le aspettative possono nascere senza le (o prima delle) ripetizioni; ...un'analisi logica... ha mostrato che esse non potrebbero nascere altrimenti poiché la ripetizione presuppone la similarità, e la similarità presuppone un punto di vista – una teoria o un'aspettativa» [1972, trad. it. p. 45]. Conviene quindi indicare brevemente alcuni fondamenti sperimentali delle teorie dell'apprendimento e trattare dello sviluppo cognitivo.

5. *Anticipazione e apprendimento.*

L'epistemologia genetica e la psicologia cognitiva, grazie ad una rifondazione concettuale e ad una accurata sperimentazione su bambini di ogni età, hanno rivalutato la componente attiva dell'apprendimento; da Tolman in poi

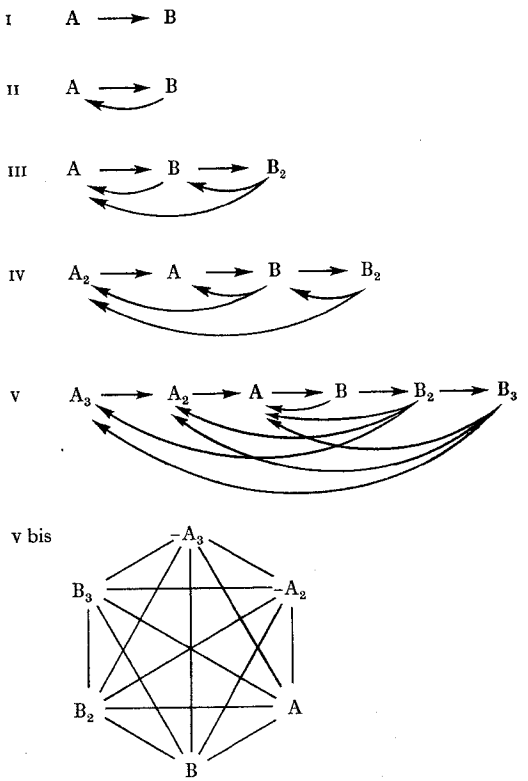


Figura 1.

Lo schema illustra quello che, secondo Piaget, è il processo di transfert o di inferenza a partire da informazioni anteriori, processo generatore di anticipazioni. Ogni schema pratico-conoscitivo può divenire anticipatore una volta che esso è ben costruito.

Il grafico è il piú semplice modello di tali processi. Piaget parte dall'esempio di un bambino di 11 o 12 mesi di età il quale, tirando leggermente e per caso un tappeto o un supporto qualsiasi (azione A dello schema I), provoca un piccolo movimento dell'oggetto posato sopra il supporto (risultato B): il risultato è immediatamente connesso all'azione A, attraverso un circuito (schema II), e l'azione A ricomincia. Si passa da I a II, cioè da un'azione fortuita a uno schema di azione. Da questa fase in poi diventano possibili due tipi di estensione: una verso l'avanti, detta estrapolazione, l'altra all'indietro, detta ricorrenza. L'estrapolazione consiste nel prolungare in differenti posizioni, B_2 o B_3, il movimento B, ottenuto inizialmente come risultato dell'azione A. Ogni nuovo risultato è ricondotto per retroazione o feedback all'azione iniziale A (schemi III e IV). La ricorrenza consiste nel fatto che l'azione A può essere fatta scattare da indizi che precedono quelli della situazione iniziale I. Ad esempio il bambino può non vedere subito che l'oggetto è poggiato su un supporto e lo scopre in seguito ispezionando la disposizione degli altri oggetti. L'azione A sarà allora fatta scattare da indizi ricorrenti $-A_2$ o $-A_3$ ecc. È allora l'insieme dei circuiti che connettono B, o B_2, o B_3 ad A, o a $-A_2$, $-A_3$ ecc. che consente l'anticipazione. Questa non è altro che il trasferimento dello schema iniziale a un'azione nuova, svolta nel tempo. L'ordine temporale dei termini A e B diventa indifferente, si passa da V a V bis. Ogni elemento viene connesso a tutti gli altri. Lo schema I, inizialmente non anticipatore, lo è ora divenuto attraverso le estrapolazioni e le ricorrenze. (Da Piaget 1967, p. 272).

una componente essenziale di tale attività è stata individuata nella formazione di *expectations*. Al comportamentismo e all'associazionismo, fondati sulla precedenza della ripetizione sull'anticipazione, si contrappone la priorità logica e fattuale della seconda sulla prima. Per Jean Piaget «la funzione di anticipazione è una delle piú generali, sia della vita organica che dei meccanismi conoscitivi, per il semplice fatto che essa prolunga ogni conservazione di informazioni, tanto di quelle di natura genetica che di quelle acquisite» [1967, p. 274]. Il bambino parte, ad ogni stadio successivo, con delle «ipotesi» sulle regolarità del mondo circostante, cioè con delle anticipazioni, per poi modificarle ed incastrarle l'una nell'altra, in un continuo scambio tra rappresentazioni concettuali e schemi di azione. Lo schema di sviluppo conoscitivo proposto da Piaget (fig. 1) si rappresenta attraverso una rete integrata, costruita per tappe, sequenzialmente, mediante operazioni di assimilazione e di anticipazione. L'assimilazione, l'autoregolazione e il «trasferimento» delle operazioni cognitive sono le chiavi di volta dell'intero edificio piagetiano, poggiante sulla autorganizzazione dell'intelligenza umana, sulla memorizzazione degli schemi e sulla anticipazione dei risultati delle operazioni. Questa dinamica delle strutture conoscitive, resa possibile dalla dinamica portante della stessa evoluzione biologica, caratterizza non solo l'intelligenza umana, ma la vita nel suo insieme. Un altro grande studioso dello sviluppo cognitivo, Jerome S. Bruner, malgrado i molteplici e talvolta fondamentali punti di attrito con la teoria piagetiana, ha ugualmente sottolineato la dominanza delle operazioni anticipatrici e ne ha allargato lo spettro studiando i neonati. L'interazione tra il neonato e la madre, o chi ne sostituisce le funzioni, si focalizza su uno scambio di messaggi e sull'effetto reciproco della emissione, della ricezione, della decodificazione di tali messaggi. Bruner ha anche adottato il termine, di origine ingegneristica, di ante-azione (*feed-forward*), il quale si aggiunge alla retro-azione (*feed-back*) e spesso la domina. Un repertorio innato e caratteristico della specie umana è subito sfruttato dal neonato per inserirsi nel mondo che lo circonda e per modificarne, consapevolmente o inconsapevolmente, a suo favore alcuni tratti. Il pianto, il sorriso, i movimenti oculari, i movimenti della testa, i movimenti dei muscoli facciali, la suzione nutritiva o a vuoto rientrano in questo repertorio. La capacità di decodificare certe forme visive specifiche, come ad esempio il «triangolo» significativo costituito dal viso umano, e di tradurre le espressioni del viso materno in atteggiamenti o in «intenzioni» che lo riguardano, possono anche essere considerate come facenti parte della dotazione innata di strumenti comunicativi. Progressivamente queste reazioni automatiche e queste anticipazioni «selvagge» vengono assoggettate ad un controllo corticale sempre piú efficace ed integrato, le diverse azioni, retro-azioni ed ante-azioni diventano volontarie, consapevoli, almeno nella modulazione e nell'innesco iniziale. Rifacendosi ai classici studi di un altro psicologo inglese, John Bowlby [1969], sulla dinamica dell'«attaccamento» o mutuo legame tra madre e figlio, Bruner ha osservato il perfezionarsi di «stati mutuamente consistenti» della coppia madre-figlio, considerata una vera e propria unità bio-psicologica. L'instaurazione di aspettative reciproche e il mutuo adattamento nella comunicazione e

nel comportamento avviene grazie ad una serie di interventi attivi nei due sensi. Il bambino «educa» la madre non diversamente da come questa lo educa, se essa è recettiva e sensibile. Heide-Lise Rivinus e Solomon Katz [1972] hanno meglio precisato lo stato delle aspettative, già formate nelle gestanti, ed hanno poi seguito lo svolgersi dell'interazione madre-figlio dopo il parto. La loro tecnica è semplice e diretta, introspettiva in una prima fase, prima del parto, e osservativa dopo. Il test delle aspettative consiste nel mostrare alla futura madre delle foto di neonati, prese in diverse situazioni, e facendola inoltre assistere alle varie fasi di allattamento e assistenza ad altri neonati. In tal modo, registrando le reazioni, i commenti, i giudizi della futura mamma è possibile per ciascuna costruire un certo profilo delle sue aspettative sul comportamento del futuro figlio e sul proprio comportamento di risposta. Dopo la nascita, seguendo la dinamica effettiva dell'interazione, si è potuto constatare che esistono diversi gradi di «rigidità» individuali. Alcune madri si fissano su uno schema precostituito di aspettative e indirizzano, intenzionalmente o no, il rapporto entro questo schema, mentre in altri casi l'aspettativa del neonato retroagisce su quella materna modificandola. Gli studi sono ancora in una fase iniziale, ma la dinamica e la tipologia di questi «incontri e scontri» tra aspettative nel rapporto materno si annunciano molto fruttuose per comprendere la cosiddetta formazione del carattere, cioè l'interpersonalità ed i suoi rapporti con la successiva personalità autonoma del bambino. Fin dalla nascita, dunque, ci si trova di fronte ad un soggetto attivo, non ad una tabula rasa infinitamente plasmabile, come erroneamente postulava la tradizione empirista e come un certo senso comune continua a supporre, negando spesso la piú elementare evidenza. Bruner ha giustamente posto in rilievo il fatto che l'ingresso di informazioni, ciò che i comportamentisti amano etichettare con il termine macchinomorfo di *input*, non conta nulla se non vi è anche la possibilità, per il ricevente, di agire sull'ingresso. Un ricevitore passivo non è capace di imparare, come testimoniano a sufficienza anche i piú sofisticati automi, in quanto la condizione essenziale all'apprendimento è un confronto dinamico tra ricezione e azioni autoregolative, cioè una complessa relazione, mediata da anticipazioni, tra ciò che entra e ciò che si è predisposti a ricevere. Per Bruner, infatti, l'anticipazione attiva è essenziale. La piú efficace stimolazione, per quanto concerne l'apprendimento nel bambino, è data da accordi o disaccordi (*match and mismatch*) tra le sue attese e ciò che di fatto gli si presenta nel suo agire [Bruner 1975].

La neurofisiologia ha ampiamente mostrato che un «modello del mondo» si produce spontaneamente attraverso l'organizzazione nervosa, questo modello incanala «pesantemente» (il termine è ancora di Bruner) il tipo di anticipazioni prodotte dal bambino e, di conseguenza, il tipo di informazione suscettibile di modificare queste anticipazioni. La plasticità neuronale, sulla quale si fonda la versatilità cognitiva, è espressa da un'estrema sensibilità alle occasioni di esperienza efficace. Il «pesante» incanalamento innato rende possibile un vastissimo apprendimento postnatale, in quanto le anticipazioni, guidando l'attività sul mondo e sulle persone, rivelando una miriade di scarti, eccezioni,

contraddizioni, si autocorreggono. Sembra che la zona ottimale di apprendimento nel bambino si situi in una regione di novità relativa. Il massimo di interesse e il massimo di profitto vengono sollecitati quando un certo grado d'innovazione si sovrappone a dei tratti di base costanti. Quando le anticipazioni sono sufficientemente accurate per costruire un senso a quanto accade e a quanto si fa, ma non abbastanza per spiegare tutto. I due estremi opposti sono la totale confusione, di fronte alla quale il bambino si irrita e si ritrae, e la eccessiva ripetizione senza novità, che genera tedio e distrazione. In una fascia abbastanza larga tra questi due estremi si trova la condizione di massimo apprendimento e il risveglio del massimo interesse, oltre che, fatto di importanza educativa capitale, il massimo piacere di apprendere. Bruner muove una radicale e fondatissima critica ai sistemi scolastici oggi vigenti, in quanto castratori delle anticipazioni, affossatori della feconda propensione del bambino ad indovinare, a scompaginare le regole del gioco educativo, a precorrere i problemi. Vi dovrebbe essere un diritto sancito alla congettura, all'anticipazione delle forme e dei contenuti del sapere, se si vuole che la scuola sia formazione delle intelligenze per il domani. Invece, lamenta Bruner [1975], si sopprime l'elemento anticipatore dell'apprendimento, si sopprime l'attività combinatoria, concentrandosi su miopi materie scolastiche. Un aspetto sociale rilevante della tematica dell'anticipazione è che l'accesso selettivo al linguaggio, operato dalle discriminazioni educative, può riflettersi anche in un accesso selettivo alle capacità di formulare ipotesi, anticipazioni e nuove configurazioni di concetti. Una pluridecennale discussione è in atto, tra linguisti, psicolinguisti, antropologi ed epistemologi, a proposito dell'anticipazione degli schemi di azione, cognitivi e sociali, sugli schemi del linguaggio o di questi su quelli. Per Piaget e Bruner, seppure con sfumature diverse, gli schemi d'interazione sociale anticipano le strutture linguistiche; per Chomsky, Fodor, Katz e per i generativisti in genere le strutture grammaticali profonde costituiscono degli «universali» della specie e sono indipendenti dalle strutture di socializzazione. Le rare verifiche sperimentali dell'esistenza e dell'autonomia delle strutture profonde e del ruolo da queste svolto nella comprensione e nella memorizzazione delle frasi si sono basate proprio sui mutamenti di aspettative linguistiche e sulla stabilità relativa delle aspettative quando si lascia invariata la struttura superficiale e si modifica la struttura profonda [Mehler 1963]. Lo studio del peso determinante delle *expectancies* nell'articolare sintassi e semantica e nel fondare un calcolo mentale delle presupposizioni e delle implicazioni è appena agli inizi [Wilson 1975; Sperber 1975].

Alla luce di quanto detto e di una ricca messe di risultati, accumulata soprattutto nell'ultimo decennio, in psicologia, in linguistica e in psicolinguistica, alla luce della teoria dell'apprendimento, anche la seconda affermazione di Popper, cioè la precedenza delle anticipazioni sulla ripetizione, appare perciò ampiamente fondata. Fatto che, sia detto per inciso, apparirebbe al Popper privo di interesse, in quanto egli sostiene dover essere l'epistemologia a fondare le scienze particolari e non la psicologia a fondare l'epistemologia. Per affrontare quindi un'ulteriore analisi del problema delle anticipazioni e per di-

scutere sul suo terreno proprio la critica anti-induttivista, occorre riprendere le fila dalla critica kantiana dell'empirismo e giustificare teoreticamente la possibilità delle operazioni anticipatrici assolute, cioè esaminare brevemente il problema degli a priori filosofici.

6. *L'anticipazione e le filosofie dell'a priori.*

Render conto dell'attuale rivalutazione delle operazioni a risultato non garantito [Hintikka 1973], delle plausibilità a priori di un'ipotesi scientifica [Putnam 1971], dello scontro alterno tra anticipazioni teoriche e falsificazioni sperimentali [Kuhn 1962], delineare i motivi, i fondamenti filosofici e le conseguenze di questa rivalutazione, può tradursi in uno studio, locale, ma sotto molti aspetti privilegiato, del necessario ampliamento dei canoni classici della razionalità. Qui sarà possibile solo tracciare una sommaria rete di snodi problematici. Gli orientamenti di ricerca biologica e psicologica descritti nei paragrafi precedenti hanno riportato in auge una concezione kantiana del soggetto epistemico. Ai fatti ci si accosta con una organizzazione percettiva, categoriale, anticipatrice, che è allo stesso tempo selettiva e proiettiva, fondata sull'organizzazione cerebrale e quindi, riprendendo un concetto spenceriano, a posteriori rispetto alla specie e a priori rispetto all'individuo. La pertinenza delle anticipazioni previe si giustifica sovente, anche per certi filosofi, con argomenti evoluzionistici; la celebre *adaequatio rei et intellectus* è il risultato di milioni di anni di mutazioni e selezioni, attraverso le quali le facoltà cognitive si sono affinate, integrate, autocorrette. L'ancoraggio biologico, anzi, piú precisamente darwiniano, delle categorie del pensiero è esplicitamente ipotizzato da epistemologi come Popper, da linguisti come Chomsky, Katz, Fodor, da logici come Hintikka, Putnam. Nel già citato articolo *The Rationality of Scientific Revolutions* [1975], Popper sviluppa nei particolari l'analogia tra il progresso delle idee e l'evoluzione biologica. Le idee scientifiche nascono, mutano, muoiono, si diffondono come gli esseri viventi. L'evoluzione delle teorie prolunga e perfeziona l'evoluzione biologica. «Dal punto di vista biologico ed evoluzionistico la scienza, o piuttosto il progresso nelle scienze, può essere considerato un mezzo impiegato dalla specie umana per adattarsi all'ambiente... possiamo infatti distinguere tre livelli di adattamento: adattamento genetico, apprendimento adattativo del comportamento e scoperte scientifiche, come caso particolare di apprendimento adattativo». L'ipotesi centrale dell'articolo è che «in ciascuno dei tre livelli, il meccanismo di adattamento è fondamentalmente lo stesso» (p. 73).

Non solo gli organi di senso incorporano anticipazioni e perfino pregiudizi ma i prodotti stessi delle attività conoscitive sono soggetti ad un'evoluzione per mutazione e selezione. Su questa visione del progresso scientifico i critici di Popper hanno preso le loro distanze. Una sorta di concessione periferica alla validità di queste ipotesi è fatta da Kuhn per quanto riguarda il processo elementare della referenza, il meccanismo, qualunque esso sia, adoperato per far

aderire alla natura i termini del linguaggio. Linguaggio naturale e linguaggio scientifico si fondano ambedue su tale meccanismo universale, costruito (*designed*) in modo tale da «descrivere il mondo cosí com'è, non un qualsiasi mondo concepibile». Tra linguaggio naturale e linguaggio scientifico la differenza fondamentale è la diversa capacità di adattamento ad eventi non anticipati (*unexpected occurrence*). «Cose che non possono essere dette *facilmente* in un dato linguaggio, sono cose che coloro che l'adoperano non si aspettano di dover dire» [Kuhn 1970, trad. it. p. 356]. Se l'adattamento tra linguaggio e realtà sia frutto di un'evoluzione biologica, se il meccanismo di referenza sia biologicamente fondato, Kuhn non lo esplicita, ma non lo esclude. L'interesse per questo genere di spiegazioni appare comunque in Kuhn del tutto secondario. Per questi filosofi della costruzione sociale del consenso scientifico, le basi universali, innate o meno, sono quanto di meno interessante possa esserci. Secondo Elkana il moderno concetto di innatismo biologico e di selezione darwiniana risulta necessariamente circoscritto alla cultura scientifica occidentale; laddove esso parrebbe avere il massimo potere esplicativo, cioè nel confronto tra conoscenze in culture umane molto diverse tra loro, si scopre il massimo difetto etnocentrico della domanda. Che senso può avere, al di fuori della nostra cultura occidentale dominata dalla scienza, se gli universali conoscitivi esistono o meno e se essi sono di origine genetica? È una nostra idea dei meccanismi conoscitivi riscontrabili in un'altra cultura; chi effettivamente appartiene a tale cultura non può nemmeno comprendere, nelle sue linee generali, il significato del problema. La riflessione è corretta, ma, all'interno della cultura occidentale, nel cui ambito si colloca la scienza nel suo complesso ed anche, per forza di cose, il presente articolo, il problema ha un senso e una sua importanza. Fatta questa doverosa digressione per relativizzare la portata degli assunti, riprendiamo l'ipotesi (della inneità di alcune strutture conoscitive essenziali) alla sua base storica.

Già in un popolare ciclo di conferenze tenuto alla società filosofica di Vienna nel gennaio del 1905, Ludwig Boltzmann, uno dei massimi costruttori del determinismo statistico in fisica, aveva dichiarato che ai suoi occhi ci si doveva attendere la salvezza della filosofia dalla teoria di Darwin [Boltzmann 1905]. Le leggi del pensiero, esplicitate ad esempio nella logica, altro non sono che «abitudini ereditarie del pensiero», la ricerca di leggi scientifiche e la conoscenza ordinata della natura si fondano, sempre secondo Boltzmann, su un «istinto di classificazione». Questa linea di «salvataggio» della filosofia delle scienze è oggi perpetuata da Popper [1972], secondo il quale, dall'ameba a Einstein, ogni organismo vivente conosce il mondo attraverso una attività incessante, per tentativi, e attraverso l'eliminazione degli errori, scartando ciò che non funziona e ritenendo ciò che contribuisce alla sopravvivenza della specie. La differenza capitale, però, tra l'ameba e l'uomo è che l'ameba, se sbaglia, elimina se stessa e tutti i suoi potenziali discendenti, in quanto portatrice di una mutazione genetica sfavorevole; l'uomo può invece eliminare i propri errori e conservarsi in quanto individuo e in quanto riproduttore (trad. it. pp. 321-23). La pertinenza delle anticipazioni innate è garantita dal filtraggio evolu-

tivo; la precedenza delle teorie sull'esperienza è resa possibile, in ultima istanza, dalla millenaria previa «esperienza» subita dagli antenati, con il corollario di riuscite e di scacchi. È quindi dal neodarwinismo che oggi emerge una confutazione del paradosso di Hume, contro il quale si era già validamente cimentato Kant e che aveva addirittura fornito l'avvio a gran parte dei suoi scritti «critici». Lo scetticismo di Hume svegliò, come è noto, Kant dal suo «sonno dogmatico», ed impedí di dormire a non poche generazioni di filosofi. Stando a Bertrand Russell, il crescere dell'irrazionalismo lungo il XIX secolo e quanto è successo nel XX sono naturali conseguenze della distruzione dell'empirismo operata da Hume; la distruzione degli a priori e l'intera filosofia di Hume rappresentano la «bancarotta della ragionevolezza settecentesca» e se non è possibile formulare una valida risposta a Hume nessuna differenza intellettuale esiste piú tra sanità e follia [Russell 1946]. Ugualmente di «bancarotta della conoscenza obiettiva» parla Husserl nella *Crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale* riferendosi al «solipsismo» di Hume [1935-37, trad. it. p. 115]. La fonte di tanto scempio consisteva nell'aver messo in dubbio i fondamenti razionali dell'induzione e nell'aver delimitato entro una «abitudine a credere» i meccanismi di produzione delle anticipazioni. Senza questo *custom or habit* ci sarebbe impossibile vivere, ma la ragione si trova a corto di solidi argomenti per giustificarlo. La soluzione data da Kant al problema fu di dimostrare che l'intelletto non riceve le anticipazioni e le leggi dall'osservazione, ma che ad essa le impone, come legislatore autonomo. Questo è un fatto, per Kant, «fisiologico» e «antropologico», che la ragione deve ricercare nella natura stessa del soggetto umano universale. Ai nostri giorni le vie di uscita dalla *impasse* humiana sono fondamentalmente di due tipi: o si accetta l'abitudine, biologicamente costituitasi, come un fondamento in sé sufficientemente solido, o si ridimensiona l'ambizione razionalistica di voler giustificare con altri argomenti il successo delle anticipazioni e delle induzioni. Un discorso a parte andrebbe, però, fatto sulla filosofia analitica e sulla fenomenologia. Ad eccezione di Wittgenstein la scuola analitica è estranea al problema dell'anticipazione, come anche, in fondo, al problema dell'induzione e non è possibile dunque qui occuparsene. Rintracciare nel pensiero di Wittgenstein una tematica tanto specifica come quella della anticipazione risulta quanto mai arduo e ci si limiterà qui a segnalare il recente libro di Gerd Brand [1976], dove appunto è stata realizzata una organizzazione tematica. Il caso della fenomenologia è invece diverso. Il tema dell'anticipazione è, sia in Husserl che in Heidegger, assolutamente centrale per l'intero impianto della loro opera e, attraverso la psicologia della *Gestalt*, non pochi concetti fenomenologici sono passati nelle scienze sperimentali. Rispetto all'asse centrale di questo articolo, però, l'anticipazione della fenomenologia risulta marginale. Il nostro scopo è infatti quello di analizzare i fondamenti delle anticipazioni nelle scienze e nella filosofia della scienza; ora, salvo le profonde pagine consacrate alla nascita della fisica galileiana da Husserl nella *Crisi delle scienze europee* [1935-37, trad. it. pp. 53-88], poche filosofie contemporanee ci sembrano tanto estranee ai problemi della scienza in carne ed ossa quanto la fenomenologia. Essa si propone, ed in questo

risiede probabilmente il suo fascino, come una radicale alternativa alla razionalità scientifica, un po' facilmente assimilata allo scientismo e al positivismo. La psicologia moderna ha salvato ciò che vi era di salvabile nella *Gestalt*, mediando quindi certi contenuti operativi della anticipazione fenomenologica.

Sulla prima via di uscita dal paradosso di Hume, cioè sulla sufficienza della ragione «biologica» a giustificare le anticipazioni e l'induzione, si è detto ampiamente nei paragrafi precedenti e in questo paragrafo; ci si soffermerà adesso sulla seconda via, quella della autolimitazione del razionalismo.

Un filosofo di orientamento realistico-critico, Hilary Putnam, ha scritto [1971] che rifiutarsi di prendere decisioni a priori sulla plausibilità di un'ipotesi significa puramente e semplicemente rinunziare a fare scienza. Ad ogni istante un'infinità di ipotesi mutuamente incompatibili sono, isolatamente prese, tutte compatibili con un qualunque insieme finito di dati sperimentali. «Se dichiariamo che un'ipotesi è stata "confermata", ciò non avviene in quanto *tutte* le altre ipotesi sono state eliminate, ma perché tutte le altre ipotesi sono scartate in quanto troppo implausibili, sebbene esse possano anche essere in accordo con l'esperienza e perfino essere predittive dell'esperienza» [Putnam 1971, p. 67]. Accettare un ordine a priori di plausibilità, stabilire una gerarchia anticipatrice di plausibilità tra teorie diverse, non consiste né in un giudizio empirico, il quale seguirà questo ordinamento, né in una dimostrazione di logica deduttiva; si tratta di «prendere una posizione metodologica». Tra ipotesi alternative si decide, a priori, di privilegiare quella che è, poniamo, piú semplice, piú elegante, piú coerente, piú organica, o soddisfacente altri criteri di questo tipo. Putnam istituisce una «massima di razionalità» che viene cosí formulata: «Non credere in una ipotesi H_1 se tutti i fenomeni contemplati da H_1 sono anche contemplati da H_2 e l'ipotesi H_2 è piú plausibile di H_1» [*ibid.*]. Appare evidente una ridefinizione delle ambizioni filosofiche del razionalismo classico. Per Putnam l'obiezione del «finzionalismo», cioè la critica di insufficienza del criterio e la sua riduzione ad una variante del «come se» (nel senso di Vaihinger), è insostenibile in quanto non vi possono essere altri criteri razionali, piú forti, in nome dei quali si possa «voler altro» per costruire razionalmente la scienza. «È sciocco, – fa notare Putnam a proposito di questo tipo di riserve, – il concedere che esista una ragione per credere in una ipotesi, concedere che questa ragione renda accettabile l'ipotesi in ogni situazione scientifica, ma poi aggiungere che tuttavia questo "non basta"» [*ibid.*, p. 71]. La ricerca dei fondamenti della scienza non deve investirsi di ambizioni spropositate, a meno che non si opti per filosofie che ammettono metodi di indagine non scientifici o metascientifici che dominano dall'alto la stessa razionalità (si pensi, come accennato sopra, alla fenomenologia). Ma queste filosofie hanno altre preoccupazioni e non si curano di portare avanti la critica dei fondamenti «interni» alle scienze positive.

Sempre nella filosofia della logica, uno studioso piú vicino a posizioni intuizioniste, Jaakko Hintikka, estende la tematica kantiana ed erige a fondamento della conoscenza le «attività di ricerca e ritrovamento». Il calcolo proposizionale, i quantificatori logici e le entità individuali della matematica sono,

per Hintikka, confrontabili con delle previsioni riguardanti il risultato di certi processi di ricerca. Non tutti gli individui di cui si conosce l'esistenza possono essere prodotti mediante «operazioni» il cui andamento è stabilito in anticipo. Si comincia a costruire anticipando l'esistenza, l'unicità, l'universalità e gli altri attributi inerenti agli individui, senza avere la garanzia che, una volta trovati, e ammesso che essi possano essere trovati, questi attributi o proprietà risultino effettivamente soddisfatti. Questa è una impossibilità logica, non un limite contingente o tecnico. La logica viene in qualche modo ridimensionata a una co-

Tabella 1.

Sono qui messi a diretto confronto gli argomenti di Kant (a sinistra) e di Hintikka (a destra), ciascuno suddiviso per comodità in otto passaggi. Ogni passaggio dell'argomento kantiano sulla matematica corrisponde all'analogo passaggio dell'argomento di Hintikka relativo alla teoria della quantificazione. Il passaggio centrale è il VI. Alla sensazione di Kant, Hintikka sostituisce le attività di ricerca e ritrovamento. Il «ridimensionamento» delle pretese di giustificazione razionale è espresso da III, dove Hintikka si limita a parlare di «necessità logica», mentre Kant parla di necessità assoluta. Ci sembra indubitabile che queste due sostituzioni e l'intero impianto dell'argomento di Hintikka derivino da un mutamento nelle «immagini della conoscenza» (cfr. il § 8 di questo articolo). È il compito fondamentale del logico che si trova ridimensionato, in seguito ad una riconsiderazione di ciò che è possibile dimostrare razionalmente e ciò che va concesso come assunto indimostrabile. L'importanza dello schema per la teoria dell'anticipazione è esposta nel § 6 dell'articolo. (Da Hintikka 1973, trad. it. pp. 138-39).

L'argomento di Kant concernente la matematica

I La caratteristica essenziale del ragionamento sintetico in matematica è l'introduzione di nuove intuizioni a priori.

II Compiendo questa operazione, sembra che anticipiamo l'esistenza di un individuo con certe proprietà prima che l'esperienza ce ne abbia fornito uno.

III I risultati di tali ragionamenti sono nondimeno applicabili a tutta l'esperienza a priori e con assoluta necessità.

IV Questo è possibile soltanto se la conoscenza che otteniamo per mezzo di queste anticipazioni d'esistenza riguarda individui solo nella misura in cui essi sono oggetti delle attività mediante cui acquisiamo conoscenza dell'esistenza di oggetti individuali in generale.

V La conoscenza cosí acquisita non farà allora che riflettere la struttura delle attività per mezzo delle quali acquisiamo conoscenza dell'esistenza di oggetti individuali in generale.

VI L'attività per mezzo della quale acquisiamo conoscenza dell'esistenza di oggetti individuali è la sensazione.

VII Perciò la conoscenza ottenuta per mezzo del ragionamento matematico si applica a oggetti solo nella misura in cui essi sono oggetti di sensazione (intuizione sensibile).

VIII Inoltre, le relazioni tra gli individui introdotti nel ragionamento matematico (e dunque anche quelle tra le loro rappresentazioni o tra le intuizioni loro corrispondenti) sono dovute alla forma (struttura) della nostra sensibilità, che essi riflettono.

struzione di «modelli» locali e localmente non contraddittori, a partire dai quali, con strategie di anticipazione, di ricerca e ritrovamento, si tenta di generare modelli piú vasti, di livello superiore, o di verificare la mutua compatibilità tra modelli locali distinti. Il privilegio accordato da Kant alla percezione e l'essersi limitato alla giustificazione degli a priori sensibili e delle categorie del giudizio, ha significato, secondo Hintikka, la messa in ombra delle attività di ricerca e di anticipazione nella genesi della conoscenza. Lo schema sintetico di Hintikka (tab. 1) illustra punto per punto l'allargamento operato sulla strategia kantiana. La percezione diretta non è che «un caso banale di ricerca riuscita». L'anticipazione logica è un «gioco a tavolino», distinto dai «giochi all'aria aperta», cioè dalla ricerca scientifica. Se non riesco nel primo, certamente perderò anche nel secondo, l'inverso però non vale: posso riuscire nel primo e perdere «contro la Natura», sempre, però, secondo le regole del gioco che ho io stesso imposto. È per questo che la natura «appare» conformarsi alle leggi del nostro pensiero: in effetti stabiliamo a tavolino delle regole per noi ottimali, poi imponiamo il gioco sul terreno aperto della ricerca sperimentale. Ogni «mossa» rappresenta un successo temporaneo o una perdita definitiva (traduzione nel linguaggio di Hintikka dell'asimmetria popperiana tra verificabilità e falsificabilità), ma il tutto avviene entro le regole del gioco. L'anticipazione è la quadrettatura, il manuale previo e la strategia del gioco di ricerca. La adeguazione tra intelletto e cose non è «data» da una qualsivoglia mediazione as-

Argomento analogo concernente la teoria della quantificazione

La caratteristica essenziale del ragionamento sintetico nella teoria della quantificazione è l'uso della regola di esemplificazione esistenziale.

Nell'applicarla, sembra che anticipiamo l'esistenza di un individuo con certe proprietà prima che l'esperienza ce ne abbia fornito uno.

I risultati di tali ragionamenti sono nondimeno applicabili a tutta l'esperienza a priori e con necessità logica.

Questo è possibile solo se la conoscenza che otteniamo per mezzo di queste anticipazioni di esistenza riguarda individui solo nella misura in cui essi sono oggetti delle attività per mezzo delle quali acquisiamo conoscenza dell'esistenza di oggetti individuali in generale.

La conoscenza in tal modo acquisita non farà allora che riflettere la struttura delle attività per mezzo delle quali acquisiamo conoscenza dell'esistenza di oggetti individuali.

Le attività per mezzo delle quali acquisiamo conoscenza dell'esistenza di individui sono le attività di *ricerca* e *ritrovamento*.

Perciò, la conoscenza che otteniamo nella teoria della quantificazione si applica a individui solo nella misura in cui essi possono essere oggetto, almeno in linea di principio, delle attività di ricerca e ritrovamento.

Inoltre, la struttura degli argomenti quantificazionali riflette la struttura delle attività di ricerca e ritrovamento.

sociativa o discriminativa, essa è costruita punto per punto come una battaglia, e vinta, o persa, come una battaglia (il termine strategia va bene tanto per i giochi che per le guerre). L'anticipazione è il «piano» della battaglia. La critica della ragione perde forse in dignità apodittica e trascendentale, ma, attraverso queste recenti e feconde revisioni filosofiche, guadagna in concretezza e in conformità alla prassi. Appare dunque ingiustificato e, al limite, perfino un po' paranoide, il timore che, aperta la porta alle anticipazioni, si infiltrino necessariamente i pregiudizi, che le opinioni a priori sconfinino nel fanatismo e che rifiutando l'empirismo si restauri la metafisica. Come ha scritto il critico d'arte Ernst Gombrich, «the innocent eye sees nothing», l'occhio innocente non vede nulla [1969; e 1975, p. 125]. Ma non è detto che l'occhio smaliziato debba essere perverso.

Prima di concludere converrà fare un rapido accenno alle anticipazioni nelle scienze sociali e ridimensionare certe pretese della cosiddetta futurologia.

7. *L'anticipazione sociale.*

Seppure con serie carenze epistemologiche e con definizioni sovente tautologiche, la nozione di anticipazione, o di aspettativa, ha assunto in sociologia, da Durkheim in poi, un ruolo importante nell'analisi degli squilibri e degli equilibri tra le tensioni sociali. La continua ridefinizione della nozione di bisogno e il disgregarsi dello spontaneismo liberistico hanno portato a molteplici tentativi di fattorizzare gli obiettivi dei singoli, dei gruppi, delle classi, dei centri di potere, degli Stati. Una psicosociologia si è sforzata di accentuare le rappresentazioni relazionali (immagine di se stessi, immagine dello status, immagine di gruppo, conflitti di identità e di appartenenza) e di esplicitarne tanto le aspettative sul comportamento degli altri che le autoaspettative. L'urgenza di ricomporre ed integrare programmi sociali, politici ed economici di provenienza diversa e proiettati su tempi di realizzazione diversi ha portato a riconoscere l'anticipazione come la condizione di possibilità della realizzazione. Si assiste ad una scalata verso la gestione, reale o illusoria, delle anticipazioni come fase inevitabile del passaggio da un potere regolativo ad un potere programmatore. Il controllo sulle anticipazioni rende sempre piú illusoria la linea di demarcazione tra capacità di previsione e perturbazione finalizzata delle variabili in gioco. La disseminazione di una sociologia statistico-quantitativa e le onnipresenti tecniche di sondaggio hanno consegnato nelle mani dei grandi centri di potere, privati e pubblici, gli strumenti efficaci di manipolazione delle aspettative. Pubblicizzare delle «radiografie» delle aspettative, attraverso sondaggi su campioni, comporta inevitabilmente il loro congelamento, oppure l'opposto fenomeno dello scatenamento di controreazioni compensative. La presunta neutralità dell'indagine è stata ampiamente smascherata e denunciata nei meccanismi preelettorali e da piú parti si rivendica ormai il controllo su questi interventi.

Porre il problema del potere sulle aspettative, rivendicare la libertà del formarsi delle aspettative può addirittura rivelarsi il logico prolungamento del problema del controllo sui mezzi di produzione e sui mezzi di informazione e di comunicazione. Quanto il controllo sia divenuto urgente è anche mostrato dalla diffusione delle discipline cosiddette «futurologiche», proponentisi di anticipare l'imprevisto, l'improbabile. Il fatto che oggi questa socioeconomia a vocazione tecnocratica ambisca a costituire un *crisis management*, una gestione delle contraddizioni e degli squilibri strutturali, si occupi a fabbricare «scenari del mondo» coadiuvati da possenti apparati di calcolo, cerchi di simulare con equazioni gli sbocchi di situazioni ipotetiche, significa che tra anticipazione e trasformazione effettiva il margine si assottiglia in modo preoccupante. Le contraddizioni di queste stesse discipline sono talvolta evidenti. Pretendendosi scientifiche, esse devono fondarsi su calcoli deterministici, lasciando poco spazio agli imprevisti, o su calcoli probabilistici, che per loro natura sono però non predittivi, ma nomologici, cioè chiarificatori di presupposti. Esse risultano a doppio titolo sospette, in quanto suscettibili di perpetuare domani i pregiudizi e i limiti di oggi, oppure di ossificare le tendenze ed eternare dei meccanismi contingenti. Le futurologie si rivelano infatti, sia nelle loro versioni sociologiche e manageriali, che in quelle letterarie e romanzesche, piú che altro una esposizione, consapevole o inconsapevole, ingenua o involuta, della chiusura attuale di orizzonte. Di diversa natura e di maggiore interesse sono le analisi di tendenza, a corto o medio raggio, quando esse pervengono ad individuare delle anticipazioni pertinenti, plausibili e spesso non-intuitive o contro-intuitive. Esplicitare nodi complessi di relazioni di compatibilità/incompatibilità, valutare i limiti di stabilità, di instabilità ciclica con autocompensazione o con autosbilanciamento, rientra nelle ambizioni di una teoria dei sistemi appena agli inizi, la quale offre il vantaggio potenziale di tener conto sinotticamente di determinazioni ecosistemiche, geo-climatologiche, psicologiche, socio-economiche e tecnico-scientifiche. Le analisi sistemiche, prodotte storicamente come un'estensione delle scienze biologiche e delle teorie delle reti elettroniche, mancano ancora di una vera teoria dei bisogni e di un'articolazione tra strutture e sovrastrutture. Due economisti italiani, Pardi e Lanzara [1975] fanno giustamente notare che la sociologia sistemistica risente ancora di un certo «vitalismo», retaggio di un avvio iniziale impresso da biologi come Ludwig von Bertalanffy, estranei all'attuale, decisiva, rivoluzione molecolare verificatasi in biologia. Dal punto di vista ideologico la teoria generale dei sistemi appare tributaria di un «panlogismo hegeliano» e, secondo il sociologo tedesco Jürgen Habermas, essa persegue degli ideali di equilibrazione automatica che altro non sono che un nuovo tipo di legittimazione dell'ordine costituito, attraverso una riedizione sofisticata delle «astuzie della ragione». Correggere le crisi anticipandole e indurre crisi locali, sovrastrutturali, per prevenire le crisi strutturali piú profonde è l'obiettivo di tutta una socio-economia sistemica rapidamente diffusasi dagli Stati Uniti in altri paesi di comparabile livello di sviluppo tecnologico. L'implicito ideologico di questo stile di ricerca, purtuttavia ricco di metodologie valide, è, secondo Pardi e Lanzara [1975, p. 120],

«la pretesa di fare predizioni senza che a noi, i soggetti umani, sia dato sapere "come stanno le cose". Il fatto che il progresso sfugga, nel suo tentativo di raggiungere e prevedere le emergenze-crisi, a qualsiasi controllo politico, intendendo per politica l'insieme delle scelte democraticamente operate, fa sorgere il sospetto che il progresso ciberneticamente orientato possieda in sé una notevole carica di avventurismo».

Il controllo democratico sulle anticipazioni e sulle realizzazioni che possono conseguirne, come questi cenni sommari hanno inteso suggerire, impone un allargamento del fronte di rivendicazione nei confronti dei poteri centrali e delle cosiddette tecnostrutture, ma anche un indispensabile affinamento delle analisi a vari livelli intermedi, senza la quale all'avventurismo manageriale non si saprebbe opporre altro che l'improvvisazione fondata sul buon senso e sulla immediata intuizione.

8. *I sistemi di anticipazioni e l'unità del sapere.*

Le tessere del mosaico che è stato sin qui presentato lasciano molte lacune, né sarebbe possibile, nei limiti di un articolo, coprire esaurientemente il complesso tema dell'anticipazione. In questo paragrafo si daranno quindi solo alcune linee generali delle connessioni tra anticipazioni ed altri processi conoscitivi. Resta a tutt'oggi problematico ricostruire le reti di anticipazioni compresenti e ordinate secondo una data cultura, un dato gruppo socio-professionale, un dato individuo. Le diverse discipline ci informano su segmenti isolati di tali reti, ma la logica d'insieme potrà emergere solo attraverso un'indagine interdisciplinare, o piuttosto metadisciplinare. Indagini di questo tipo presuppongono una nuova unità del sapere, articolata su sistemi diversi di anticipazioni, i quali sono allo stesso tempo un capitolo e un fattore di crescita della nuova enciclopedia.

La neurofisiologia ci mostra l'esistenza di filtri percettivi e di anticipazioni innate, o comunque riferibili alla specie umana e attivabili ai primissimi giorni dopo la nascita; l'epistemologia genetica ha messo in evidenza i meccanismi di formazione delle anticipazioni attraverso la socializzazione; nelle scienze in genere si è riconosciuto il ruolo centrale e precondizionante delle anticipazioni sulla sperimentazione; la sociologia ha sviluppato un'analisi della progettazione e della pianificazione. Questi sono però solo i nodi principali di sistemi di relazioni che s'intersecano, si sovrappongono, mutano nel tempo e attraverso le culture. L'anticipazione piú universale, magari riconducibile a determinanti biologiche, può divenire secondaria o essere profondamente rimodellata da anticipazioni contingenti, di origine sociale o ideologica. L'unità effettiva di analisi sono i sistemi di anticipazioni e le eventuali relazioni di invarianza tra sistemi diversi. Anticipazioni di diversa origine e con diverso grado di resistenza al cambiamento possono coesistere, urtarsi, cooperare, organizzarsi per gerarchie. L'impatto dell'evidenza e l'influsso delle motivazioni agiscono variamente sui sistemi di anticipazioni, a seconda delle culture e delle epoche. Tra razionalità e irrazionalità, tra dato e opinione, tra scienza e pseudoscienza vengono tracciate delle barriere in base ad anticipazioni dominanti, alle quali le anticipazioni di ogni settore specifico restano subordinate. Gli stanziamenti per la ricerca scientifica e le politiche universitarie selezionano i settori da privilegiare, quelli da trasformare, quelli da lasciar estinguere, in base alle aspettative che il potere ha sui loro risultati. Tali anticipazioni costituiscono un sistema dominante rispetto ai sistemi locali di anticipazioni di ogni disciplina e, a maggior ragione, rispetto alle anticipazioni delle varie teorie scientifiche. Yehuda Elkana ha utilmente introdotto i concetti di corpo del sapere (*body of knowledge*) e immagini del sapere (*images of knowledge*) [1974]. Il corpo del sapere non può mai dettare le priorità tra i problemi, la legittimità di perseguire un corso di studi piuttosto che un altro, la gerarchia tra discipline prioritarie, importanti, secondarie e false discipline. Queste sono invece le scelte dettate dall'immagine della conoscenza – relativa ai contesti storici e culturali – la quale decide del corpo della conoscenza, dei modi di accedervi, della sua validità e irrilevanza. Nessuna teoria, secondo Elkana, è soggetta a refutazione o a prova se non nel quadro di una data immagine della conoscenza. Se nella mia immagine della conoscenza i sensi e l'osservazione non sono una fonte valida di verità, ma lo è invece la tradizione rilevata, il cannocchiale non dimostrerà nulla. La prova di un'ipotesi è relativa ad un contesto piú generale, nel quale sono stabilite in precedenza le fonti possibili di verifica o di falsificazione. Ogni immagine della conoscenza si articola attraverso un sistema di anticipazioni e questo attraverso sottosistemi locali. Il sistema dominante non può essere sovvertito se non attraverso una rivoluzione culturale che cambi l'immagine stessa della conoscenza. Se una data immagine della conoscenza ammette che gli astri possano influenzare la condotta umana, si potranno avere dispute interne tra correnti astrologiche, ma non una confutazione dell'astrologia in quanto teoria-pratica globale. Ogni scacco dei suoi poteri predittivi verrà spiegato all'interno della dottrina. Astrologia, spiritismo, demonologia, superstizione e magia poggiano su diversi sistemi di anticipazioni, all'interno dei quali ogni insuccesso riceve una spiegazione ad hoc. La refutazione sperimentale, propria alle scienze, lascia indifferenti gli adepti di questi diversi ordini del sapere. Le immagini della conoscenza sono diverse e il dialogo critico è sterile. Ciò non toglie che, a causa della profonda unità del sapere teorico-pratico della cultura a dominante scientifica, queste sacche di eterodossia si trovino sempre piú costrette ad imitare uno stile scientifico di argomentazione, pur restando estranee alla scienza a livelli piú fondamentali. Esse testimoniano di una inevitabile contraddizione tra immagini della conoscenza coesistenti, ma incompatibili a livelli piú profondi. In nome di un piú vasto sistema di anticipazioni e di un'unità del sapere piú feconda, succeduta all'imperialismo positivista, si cerca oggi di capire a quali carenze reali queste pseudoscienze portino un palliativo, di quali vere esigenze esse si facciano interpreti. Il problema non è piú di combatterle, argomento contro argomento, aspettative contro aspettative, ma di darne una interpretazione

socio-culturale soddisfacente, inserirle in un'analisi della marginalità sociale, delle sottoculture dimenticate, dei limiti delle scienze occidentali.

Il confronto tra le culture implica un confronto tra immagini della conoscenza, tra sistemi diversi, talvolta incompatibili, di anticipazioni. Una teoria generale delle anticipazioni dovrebbe render conto non solo del perché il dato A è considerato prova dell'ipotesi H nel sistema di anticipazioni S, ma anche perché in un diverso sistema S′ il dato A non ha piú rilevanza, o l'ipotesi H non compare affatto. Occorre una traduzione tra sistemi di anticipazione, dunque la ricerca di invarianti di livello superiore tra questi diversi sistemi. Una nuova unità del sapere, non disciplinare, non etnocentrica, non cronocentrica è in via di formazione. La teoria dei sistemi di anticipazione ne costituirà un capitolo importante e allo stesso tempo un indispensabile stimolo per lo sviluppo ulteriore.

9. *Conclusioni.*

La critica epistemologica dell'induzione e i risultati delle scienze sperimentali hanno convalidato le tesi di Popper: gli organi di senso sono geneticamente costruiti con delle anticipazioni e la conoscenza del mondo si sviluppa attraverso un continuo dialogo tra aspettative e dati sensoriali. Critici d'arte come Gombrich, critici letterari come Empsom, Leavis e, in particolar modo, Burnshaw, hanno individuato anche nella fruizione estetica il fondamentale processo della mobilità degli schemi di aspettativa («shifting patterns of expectation»). La conoscenza umana nella sua accezione piú vasta, dalle scienze all'arte, nella vita di ogni giorno e nell'espressione letteraria, è quindi tributaria di schemi di integrazione percettiva e di ordini concettuali che precedono l'esperienza, guidandola e conferendole un senso. Fin dalla nascita le strutture di anticipazione sono presenti e attive, probabilmente codificate nel patrimonio genetico della specie, e la socializzazione dispiega una ricca e intricata dinamica di anticipazioni interpersonali trasmissibili con il linguaggio e la cultura. Una riappropriazione dei meccanismi di formazione delle anticipazioni sociali può essere posta come un obiettivo importante che coinvolge l'educazione, la progettazione, le prospettive di un progresso liberamente scelto. Un nuovo tipo di unità del sapere può grandemente contribuire a realizzare questo obiettivo. Le diverse discipline chiamate in causa in questo articolo, se viste con occhio non-specialistico e portate a collaborare strettamente, sembrano già pronte per una simile riunificazione. [M. P. P.].

Barlow, H. B., e Pettigrew, J. P.
1971 *Lack of specificity of neurones in the visual cortex of young kittens*, in «Journal of Physiology», CCXVIII, pp. 98-100.

Blakemore, C., e Cooper, G. F.
1970 *Development of the brain depends on the visual environment*, in «Nature», CCXXVIII, pp. 477-78.

Boltzmann, L.
1905 *Populäre Schriften*, Barth, Leipzig.

Bowlby, J.
1969 *Attachment and Loss*, vol. I: *Attachment*, Hogarth Press, London.

Brand, G.
1976 *Die grundlegenden Texte von Ludwig Wittgenstein*, Suhrkamp, Frankfurt am Main.

Bruner, J. S.
1975 *The Beginnings of Intellectual Skill*, in «New Behaviour», 2 e 9 ottobre, pp. 20-24 e 58-61.

Eimas, P. D., e altri
1971 *Speech perception in infants*, in «Science», CLXXI, pp. 303-6.

Elkana, Y.
1974 *Boltzmann's Scientific Research Program and its Alternatives*, in Y. Elkana (a cura di), *The Interaction Between Science and Philosophy*, Humanities Press, Atlantic Highlands N.J.

Fried, Ch.
1974 *Medical Experimentation: Personal Integrity and Social Policy*, Elsevier Excerpta Medica, Amsterdam.

Gombrich, E.
1969 *Art and Illusion*, Princeton University Press, Princeton N.J. 1969² (trad. it. Einaudi, Torino 1972²).
1975 *Mirror and Map: Theories of Pictorial Representation*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society», serie B, CCLXX, 903, pp. 119-49.

Hintikka, J.
1973 *Logic, Language-games and Information*, Oxford University Press, London (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1975).

Hubel, D. H.
1963 *The Visual Cortex of the Brain*, in «Scientific American», CCIX, 5.

Hubel, D. H., e Wiesel, T. N.
1962 *Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex*, in «Journal of Physiology», CLX, pp. 106-54.

Husserl, E.
[1935-37] *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendentale Phänomenologie*, Nijhoff, Den Haag 1959 (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1975).

John, R. E.
1972 *Switchboard versus statistical theories of learning and memory*, in «Science», CLXXVII, p. 850.

Kant, I.
1783 *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können*, Hartkrisch, Riga (trad. it. Laterza, Bari 1972³).

Kuhn, Th. S.
1962 *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago University Press, Chicago (trad. it. Einaudi, Torino 1969).
1970 *Reflections on my critics*, in I. Lakatos e A. Musgrave (a cura di), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, London (trad. it. Feltrinelli, Milano 1976).

Maturana, H. R.; Lettvin, J. Y.; McCulloch, W. S.; e Pitts, W. H.
1959 *What the frog's eye tells the frog's brain*, in «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», XLVII (trad. it. in V. Somenzi (a cura di), *La fisica della mente*, Boringhieri, Torino 1969).

Mehler, J.
1963 *Some Effects of Grammatical Transformation on the Recall of English Sentences*, in «Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior», II.

Mehler, J., e altri
1976 *La reconnaissance de la voix maternelle par le nourrisson*, in «La Recherche», VII, 70, pp. 786-88.

Mize, R. R., e Murphy, E. H.
1973 *Selective Visual Experience and Rabbit Striate Cortex Neurons*, in «Science», CLXXX.

Pardi, F., e Lanzara, G.-F.
1975 *Note preliminari per un'analisi sociologica della Teoria Generale dei Sistemi*, in «Rassegna italiana di sociologia», XVI, 1.

Piaget, J.
1967 *Biologie et connaissance*, Gallimard, Paris.

Popper, K. R.
1935 *Logik der Forschung*, Springer, Wien.
1959 *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London (ed. ingl. di Popper 1935) (trad. it. Einaudi, Torino 1970).
1969 *Conjectures and Refutations, the Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London (trad. it. Il Mulino, Bologna 1972).
1972 *Objective Knowledge, an Evolutionary Approach*, Clarendon Press, Oxford (trad. it. Armando, Roma 1975).
1975 *The Rationality of Scientific Revolutions*, in R. Harré (a cura di), *Problems of Scientific Revolutions: Progress and Obstacles to Progress in the Sciences*, Clarendon Press, Oxford.

Putnam, H.
1971 *Philosophy of Logic*, Harper, New York.

Rivinus, H.-L., e Katz, S. H.
1972 *Evolution, Newborn Behavior and Maternal Attachment*, University of Pennsylvania, Philadelphia.

Russell, B.
1946 *A History of Western Philosophy*, Allen and Unwin, London (trad. it. Longanesi, Milano 1974).

Sperber, D.
1975 *Rudiments de rhétorique cognitive*, in «Poétique», n. 23.

Spinoza, B.
1677 *Ethica ordine geometrico demonstrata*, in *Opera posthuma*, Rieuwertsz, [Amsterdam] (trad. it. Utet, Torino 1972).

Wilson, D.
1975 *Presuppositions and Non-Truth-Conditional Semantics*, Academic Press, London.

Young, J. Z.
1973 *Receptive fields of the visual system of the squid*, in «Nature», CCXLI.

Il concetto di anticipazione (termine che qui è usato anche per coprire il senso di «aspettativa», «predisposizione») svolge un ruolo centrale nella **scienza**, e l'articolo che precede è quindi dedicato essenzialmente a questo problema. Considerata dapprima in generale come fondamento della **conoscenza**, l'anticipazione rinvia ad **osservazione**, **ipotesi**, **verificabilità/falsificabilità**, **induzione/deduzione**, **metodo**, **logica**. Considerata poi in particolare nel suo ruolo all'interno della biologia, in rapporto all'esistenza

di filtri percettivi geneticamente determinati, rinvia a **percezione**, **sviluppo/morfogenesi**. Per il rapporto tra anticipazione ed **apprendimento**, cfr. anche **cognizione**. Gli aspetti piú formali del problema sono considerati in **sistema**, **organizzazione**, **regolazione/retroazione**; le dinamiche trasformative accoppiate in **fisica**, **relatività**, mentre la trasformazione delle anticipazioni in calcolo delle probabilità è oggetto degli articoli **probabilità**, **statistico/stocastico**. Le risposte anticipatrici indotte nel **comportamento** sono considerate in **condizionamento**, **istinto e apprendimento**, **innato/acquisito**. Infine, per quanto riguarda il concetto di anticipazione all'interno della fenomenologia, si possono considerare gli articoli **fenomeno**, **filosofia/filosofie**, **essere**.

Ipotesi

Si potrebbe scrivere a grandi linee la storia dell'«idea di scienza» descrivendo i cambiamenti di status della nozione d'ipotesi. A causa probabilmente dell'estensione senza precedenti dei domini esplorati oggi con successo dalla scienza, e della sofisticazione sempre piú audace delle astrazioni alle quali fa ricorso, sembra che il pensiero contemporaneo sia particolarmente sensibile al problema della natura e del valore delle ipotesi scientifiche.

La parola ὑπόθεσις in greco rimanda al verbo τίθημι 'pongo' e alla particella ὑπό 'sotto'. La parola d'origine latina 'supposizione' ne è dunque la trasposizione letterale; il suo significato comprende l'idea di 'congettura' e insieme quella di 'principio', di punto di partenza di un ragionamento. Nella scienza cosí come ci si presenta oggi è scomodo, e probabilmente artificiale, voler distinguere in ogni caso, a ogni costo, ipotesi isolabili e sistemi teorici complessi. Qui dunque si tratterà delle ipotesi in senso lato, comprendendo quelli che talvolta si chiamano i «principî» e anche le grandi teorie che ne sono lo sviluppo.

L'antichità classica non ha certo ignorato la presenza di ipotesi nella scienza, ma il ruolo che si riconosceva loro è caratteristico proprio delle differenze profonde tra la concezione classica della scienza e la nostra. Per Platone, il metodo «ipotetico» consiste nel proporre una definizione dell'oggetto studiato, nel trarne poi le conseguenze, cioè nel cercare le condizioni che rendono effettiva questa definizione. Se si chiama «cerchio» una figura piana i cui punti sono equidistanti da un centro, essa avrà talune proprietà; l'oggetto che si vuole identificare con un «cerchio» deve dunque avere quelle proprietà. Questo è, secondo Platone, il metodo dei matematici, ma di esso la dialettica, unica vera scienza delle essenze, non può che fare un uso provvisorio, come mostra l'esempio del *Menone*, nel quale il tentativo di definire in tal modo la virtú dà luogo a un'aporia. Il fatto è che l'ideale platonico della scienza è per l'appunto quello di una conoscenza assoluta, svincolata da qualunque ipotesi.

Nei *Secondi Analitici* di Aristotele, l'ipotesi compare nel novero dei principî della scienza. È dunque definita come una proposizione che è ammessa senza dimostrazione e che pone che qualche cosa è o non è. Si distingue dalla semplice definizione per il fatto che comporta un'affermazione d'esistenza. È essenzialmente indimostrabile e se, nella discussione, si prendono come ipotesi delle proposizioni dimostrabili, ciò avviene nella misura in cui esse appaiono provvisoriamente accettabili ma indimostrabili all'interlocutore. L'ipotesi è dunque sí un elemento legittimo e ineluttabile della scienza aristotelica, ma non comporta alcun aspetto propriamente congetturale e appartiene completamente allo strato profondo, quello che ne costituisce la base, della conoscenza.

Che la scienza debba basarsi su proposizioni che sfuggono a ogni dimo-

strazione, o almeno a ogni dimostrazione diretta, che ci si debba necessariamente arrestare nel risalire ai principî, è probabilmente un'acquisizione definitiva dell'epistemologia antica. Ma la consapevolezza di una situazione nuova nelle scienze della natura, dall'inizio del XVII secolo, ha portato a una riflessione critica sul carattere assoluto di queste ipotesi. Ciò che si qualifica oggi come ipotesi nel discorso scientifico non può essere considerato altro che un provvisorio arresto del pensiero, sia che esso *congetturi un fatto* descritto allora in modo tale da poter essere confutato nel quadro dei termini che lo definiscono, sia che esso *proponga un concetto* giustificato fino a nuovo ordine dalla sua coerenza ed efficacia nella spiegazione dei fenomeni osservati o provocati. Prima di esaminare piú in dettaglio la natura e il ruolo di tali ipotesi, e il carattere che esse conferiscono alla scienza, si parlerà del caso limite presentato dalla matematica. Certo si incontrano nella storia di questa scienza alcune ipotesi-congetture: consistono nell'enunciare una proprietà degli oggetti matematici suggerita dall'esame di casi particolari, della quale tuttavia non si è ancora in grado di dimostrare la validità universale. Il piú celebre di questi casi è probabilmente il «grande teorema di Fermat»: l'equazione $x^n+y^n=z^n$ non ha soluzioni intere per $n>2$. In un caso del genere ci si può del resto chiedere se si tratta di una congettura propriamente detta, la cui verifica ci sfugge ancora, o di una proposizione arbitraria (in quanto proposizione universale) che il corpo della matematica ci consente di accettare o respingere senza contraddizione. Entrambe le circostanze si sono presentate nel corso della storia. È cosí che le «congetture di André Weil» nella teoria delle varietà algebriche sui corpi finiti sono state recentemente dimostrate e nella teoria dei grafi è stata dimostrata la congettura dei «quattro colori» (Appel e Haken). In compenso, l'«ipotesi del continuo» formulata da Cantor si è rivelata indipendente dalla teoria degli insiemi nella quale era stata enunciata (Cohen), e di conseguenza arbitrariamente rifiutabile o ammissibile come nuovo assioma. In quest'ultimo caso l'ipotesi assume il senso molto particolare di assioma possibile, proprio della matematica. Si suppongono sia l'esistenza ideale sia le proprietà costitutive di un oggetto del pensiero dal quale si dedurranno poi nuove proprietà. La clausola di esistenza, che Aristotele aveva giustamente enfatizzato, s'interpreterà allora o come semplice non-contraddizione dei termini che si trovano associati nell'ipotesi o, in un senso piú forte, come possibilità di costruzione effettiva dell'oggetto. Questa natura eminentemente liberale dell'ipotesi-assioma si è rivelata tardi nella storia della matematica, allorché dopo piú di venti secoli di sforzi per dimostrare il «quinto postulato» di Euclide, si sono edificati dei sistemi altrettanto coerenti e fecondi della geometria classica su ipotesi differenti. La consapevolezza di tale fatto epistemologico, tanto scandaloso nel suo genere quanto la scoperta dell'irrazionalità della diagonale del quadrato, ha sconvolto sul lungo periodo la concezione della matematica. Ma ha avuto ripercussione anche sull'idea stessa che ci si fa della conoscenza della natura, stimolando a rimettere in causa lo status delle sue ipotesi.

1. *Differenti tipi di ipotesi.*

Fino a che punto, di fatto, un'ipotesi delle scienze della natura deve essere interpretata come concernente la realtà? Certo, sembra impossibile che si possa fare uso in queste scienze della stessa libertà di costruzione dell'oggetto che si ha nella matematica. Eppure, se è ben vero che le ipotesi, cosí come ogni proposizione della scienza, aspirano a una «rappresentazione manipolabile» del reale, i loro modi di rappresentazione e i loro *gradi di associazione* a questa realtà sono diversi. Ce lo mostreranno tre esempi significativamente differenti.

1) L'ipotesi di Maxwell sul campo elettromagnetico. In seguito ai lavori sperimentali di Faraday e in opposizione alla concezione degli scienziati tedeschi che spiegano i fenomeni elettromagnetici mediante un'azione a distanza, sul modello della teoria newtoniana della gravitazione, Maxwell propone di concepire diversamente queste azioni meccaniche. Esse andrebbero spiegate attraverso uno stato del mezzo intermedio, definito in tutti i suoi punti mediante due enti matematici di natura vettoriale mediante i quali si possono calcolare le forze che si esercitano su una data carica elettrica. Formula cosí l'«ipotesi che l'azione meccanica che si osserva tra corpi elettrizzati si eserciti attraverso il mezzo e grazie al mezzo, come negli esempi familiari dell'azione di un corpo su un altro per mezzo della tensione di una fune e della pressione di una barra» [1873, trad. it. p. 236].

Naturalmente tale ipotesi è precisata in termini matematici: le proprietà formali dei due vettori del campo costituiscono infatti le famose equazioni di Maxwell, dalle quali si deducono e si calcolano gli effetti elettromagnetici. Ma, nella forma data dall'autore, si tratta esplicitamente di un'ipotesi *analogica*, che fornisce un'*immagine sensibile* della natura profonda delle cose. Questa immagine sensibile serve da punto di partenza per l'immaginazione creativa, suggerendole di applicare fino a un certo punto metodi già sperimentati in altri domini; essi non formulano direttamente nessuna congettura sui fatti, sugli avvenimenti osservabili. Costituiscono piuttosto un quadro generale di rappresentazione, senza che – si noti bene – lo scienziato attribuisca loro un valore assoluto. Maxwell si esprime infatti con una notevole moderazione nei confronti dell'altra concezione dei fenomeni: «Io ho assunto la parte dell'avvocato, piú che quella del giudice» [*ibid.*, p. 134]. Del resto, a piú riprese, nel *Treatise* viene enfatizzato il carattere dominante della struttura matematica di una teoria fisica nei confronti delle diverse manifestazioni del fenomeno, e a fortiori delle sue rappresentazioni.

2) L'ipotesi dell'evoluzione per selezione naturale. Charles Darwin la elabora tra il 1837 e il 1859 in una forma riassumibile nelle sue proposizioni: le specie non sono state create di colpo e separatamente; il principale (ma non il solo) agente del cambiamento è stata la «selezione naturale», vale a dire la predominanza progressiva dei tipi che presentano i caratteri piú favorevoli alla sopravvivenza e al successo.

Si tratta questa volta di un'ipotesi-congettura che enuncia dei fatti e degli eventi osservabili direttamente o comunque attraverso le loro tracce. È del resto suggerita da una raccolta di fatti che sembrano stabilirne la validità. Darwin, originariamente seguace del fissismo, durante il suo viaggio attorno al mondo riconosce il carattere originale acquisito dalle specie che vivono in isole da lungo tempo prive di ogni contatto esterno, e interpreta le diversità dei loro caratteri come adattamenti selettivi all'ambiente. Il caso della selezione artificiale praticata volontariamente e con successo sugli animali domestici corrobora ulteriormente questa spiegazione.

Se si cerca d'immaginare il meccanismo preciso dell'evoluzione, non si può fare a meno d'impegnarsi in ipotesi di un tipo analogo a quello dell'esempio precedente. Ma l'ipotesi evoluzionista in quanto tale appare completamente diversa, poiché pretende di rivelare un fatto e non solo di fornire un metodo di rappresentazione dei fatti.

3) Si mostrerà ora un ultimo esempio d'ipotesi, scelto per il suo carattere molto piú «locale» e circostanziato. Pasteur, constatando che, dei due isomeri ottici dell'asparagina, uno solo ha sapore zuccherino, avanza l'ipotesi che l'asimmetria della molecola nella disposizione degli atomi attorno al carbonio, che permette di distinguere i due isomeri, renda la molecola di asparagina capace o no di adattarsi per cosí dire geometricamente a un recettore biologico. Piú in generale, Ehrlich, e piú di recente numerosi biochimici contemporanei, avanzano l'ipotesi che l'attività farmacologica di una molecola dipenda da certi tratti morfologici ed elettrochimici della sua struttura. Di qui l'idea di fabbricare per sostituzione altre molecole che conservino questi tratti e siano eventualmente piú efficaci della molecola di partenza.

Si tratta qui di un'ipotesi rappresentativa che dipende da tutto un sistema teorico antecedente sulla natura degli edifici molecolari. La sua portata è tuttavia relativamente ristretta, «locale», nell'insieme della scienza chimica, e i suoi legami con la sperimentazione sono affatto immediati. Tale ipotesi serve dunque soprattutto, almeno all'inizio, da schema del tutto provvisorio per un insieme di fenomeni abbastanza particolari e da guida euristica adattabile a un'azione che procede a tentoni.

Considerando questi tre esempi, sembra che l'immaginazione scientifica crei delle ipotesi di tipo e di funzioni molto differenti. Tuttavia questa eterogeneità – che potrebbe essere meglio evidenziata da una piú particolareggiata storia della scienza – non deve mascherare una nettissima opposizione tra due aspetti fondamentalmente distinti, anche se spesso sembrano congiunti e semiconfusi nella pratica scientifica. Da un lato l'aspetto *congettura sui fatti*, che dà all'ipotesi l'apparenza di un'anticipazione immediata dell'esperienza; dall'altro lato l'aspetto *modello astratto*, per il quale l'ipotesi si offre come edificio concettuale, modo di rappresentazione non direttamente subordinato all'esperienza.

Ora, a mano a mano che le scienze della natura si sviluppano, l'aspetto congettura fattuale diventa sempre meno presente perché sempre meno significativo nel discorso scientifico. Si dovrà allora concludere che l'ipotesi tende infine a recidere il suo legame con la realtà? Il problema della natura e dei limiti dell'arbitrarietà dell'ipotesi è certamente uno dei problemi piú rilevanti con i quali si è cimentata la filosofia della scienza contemporanea.

2. *Ipotesi ed esperienza.*

Interrogarsi sui rapporti tra ipotesi e realtà è, del resto, uno dei modi di affrontare il problema del senso dell'esperienza e del senso del pensiero. Un buon esempio concreto di questa problematizzazione ci è dato dallo sviluppo della «rivoluzione copernicana» che per lo storico della scienza segna, nella seconda metà del XVI secolo, l'inizio di un rinnovamento dell'astronomia e della concezione del Cosmo, ma che anzitutto si presenta agli occhi dell'epistemologo come una vera crisi dell'ipotesi.

Nel mondo antico le ipotesi destinate a spiegare i movimenti degli astri sono state interpretate alternativamente secondo due diverse tendenze. L'una, che trionfa con Aristotele, le considera ipotesi fisiche, cioè direttamente rappresentative di movimenti reali, e dunque il filosofo pensa di dover aggiungere alle sfere in rotazione di Eudosso e di Callippo, che concepisce come esseri fisici contigui, altre sfere le cui rotazioni contrarie compensano e annullano gli indesiderabili movimenti di trascinamento generati da questi contatti. Nell'altra concezione, che ha il suo culmine in Tolomeo, tutto il meccanismo dei movimenti circolari è puramente matematico. La composizione di queste rotazioni è del resto divenuta molto complessa dacché Eraclide Pontico e Ipparco ebbero l'idea di acentrare le traiettorie circolari rispetto alla Terra e di combinarle tra loro per mezzo di epicicli. Ci si è accorti allora dell'equivalenza cinematica di piú d'una rappresentazione distinta di uno stesso movimento osservato. Per Tolomeo, la complicazione e l'irregolarità del fenomeno, di ciò che si vede dalla Terra e che è reale, si spiega per mezzo del sistema matematico puramente rappresentativo, in cui sono messi in opera i principî metafisici di uniformità e di circolarità dei movimenti. Se, per «salvare i fenomeni» occorre ammettere delle rotazioni non uniformi su certe traiettorie, nella rappresentazione del movimento si introdurranno nuove figure, senza alcuna realtà fisica, sulle quali indirettamente si trova ristabilita l'uniformità della rotazione (teoria dell'equante). Tale immagine rappresentativa – tale ipotesi – è tanto migliore in quanto soddisfa meglio alle esigenze a priori della metafisica dei movimenti naturali, che è ancora grosso modo quella di Aristotele, e nello stesso tempo permette di calcolare con migliore esattezza l'andamento dei movimenti osservati.

Copernico, riprendendo l'ipotesi di Aristarco, pur continuando a basarsi sullo schema geometrico ben piú raffinato di Tolomeo, ridescriverà il sistema del mondo prendendo come punto di riferimento immobile il Sole e non la Terra. L'ipotesi di mobilità della Terra si oppone in tutta evidenza all'esperienza immediata. Si tratterà quindi in un'ipotesi puramente matematica – come suggeriranno coloro che piú tardi vorranno salvare Galileo dalla con-

danna papale – o di un'ipotesi fattuale? Copernico, che conserva i principî aristotelici di circolarità e di uniformità del movimento cosí come la geometria tolemaica degli epicicli, eccentrici ed equanti, è però decisamente un realista. Ma gli mancano prove empiriche convincenti che possano controbilanciare con successo l'apparente evidenza dell'immobilità della Terra. Si trova dunque, cosí come piú tardi Keplero, nella difficile situazione di mantenere come ipotesi fattuale una proposizione che egli può giustificare solamente con delle considerazioni concettuali. Occorrerà ancora attendere che Keplero, rompendo finalmente con i principî di Aristotele, abbia l'idea delle traiettorie ellittiche, perché l'ipotesi eliocentrica porti davvero una semplificazione decisiva dell'immagine rappresentativa dell'universo, e permetta di fare a meno dell'arsenale tolemaico. La convinzione di Keplero non poteva essere solidamente fondata su dati empirici; questi saranno messi in luce, e convenientemente interpretati, solo all'interno del sistema newtoniano della dinamica (diminuzione di peso all'equatore, dovuta alla forza centrifuga (1679), deviazione del pendolo di Foucault a causa dell'accelerazione di Coriolis (1851)), e grazie al perfezionamento della strumentazione (parallasse delle stelle fisse (1837)). Nondimeno la rivoluzione «copernicana» è a tal punto il trionfo dell'ipotesi realista che le ipotesi concettuali si trovano per cosí dire ricacciate, in Keplero, nel dominio dell'immaginazione pitagorica quasi mistica (per esempio l'idea che le distanze dei pianeti sarebbero proporzionali ai raggi delle sfere inscritte e circoscritte ai cinque poliedri regolari inscatolati uno dentro l'altro. D'altra parte il rapporto tra la velocità angolare di un pianeta all'afelio e al perielio è interpretato da Keplero come un intervallo musicale, in modo che il sistema del mondo può essere descritto come «armonia delle sfere»).

Sarà Galileo a risolvere la crisi dell'ipotesi associando consapevolmente la congettura di fatto – come il movimento della Terra – e le ipotesi concettuali che sono gli schemi matematici ai quali vuol ridurre la spiegazione dei fenomeni. Si comprende perciò come abbia potuto, senza essere platonico, proclamare nel *Saggiatore* che le leggi della natura sono scritte in lingua matematica. L'esperienza sensibile ci dà effettivamente una prima rappresentazione della realtà, ma mediata dalle reazioni del nostro corpo, come insegna un po' piú tardi e indipendentemente da lui il suo contemporaneo Descartes. Essa costituisce sicuramente il criterio ultimo di verifica delle ipotesi fattuale, che vengono formulate nel suo linguaggio; ma non ci si può fermare al suo conflitto apparente con l'edificio concettuale delle ipotesi che permettono di darne una rappresentazione mediata razionale. È in questo senso che Galileo segna veramente l'inizio dell'idea moderna di una scienza della natura.

La posizione di Newton, benché possa apparire ambigua, ne costituisce il compimento. Nel famoso penultimo paragrafo dello *Scholium generale* che conclude i *Principia* Isaac Newton scrive: «In verità non sono ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravità, e non invento ipotesi. Qualunque cosa, infatti, non deducibile dai fenomeni va chiamata *ipotesi*; e nella filosofia *sperimentale* non trovano posto le ipotesi sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche» [1713, trad. it. pp. 795-96]. Tuttavia nell'*Opticks* [1704], meraviglioso capolavoro di fisica matematica e sperimentale, propone una spiegazione dei fenomeni per mezzo di ipotesi sulla natura della luce. L'insieme della sua opera permette in effetti di dare un senso piú sfumato e piú fecondo all'anatema lanciato con i *Principia*: 1) ogni conoscenza della natura deve assolutamente muovere dall'esperienza, che sola permette di «stabilire le proprietà delle cose, poi di cercare delle ipotesi per spiegarle», come scrive in una lettera a Oldenburg (1672); 2) la scienza si presenta in definitiva come uno schema deduttivo a partire da assiomi e definizioni dai quali si possono derivare le leggi dei fenomeni, e tale è proprio il caso dell'astronomia dei *Principia* e dell'esposizione dell'*Opticks*.

Le ipotesi appaiono dunque non come qualità occulte della materia, ma come «leggi generali della natura, secondo le quali le cose stesse sono formate, nonostante che non ne siano ancora scoperte le cause» [1704, *query* 31]. Newton non si vieta dunque di filosofare su queste cause e di rapportarle alla potenza divina, ma lo fa in testi che separa dal corpo dell'esposizione scientifica e che pone in appendice ai grandi trattati. Lungi dal respingere di fatto l'ipotesi quando essa costituisce il quadro di un sistema di rappresentazione razionale dei fenomeni (come l'attrazione universale, che è proprio un'ipotesi in questo senso), vuole preservarla a un tempo da ogni confusione con l'immaginazione sensibile e dal dogmatismo delle ontologie.

3. *Ipotesi e convenzioni.*

Se da allora diverse forme d'ipotesi hanno effettivamente svolto questo ruolo a livelli differenti dell'edificio scientifico, grande è per il filosofo la tentazione di considerare come pure e semplici convenzioni quelle ipotesi che sembrano totalmente irriducibili a congetture fattuali. Si tratta evidentemente di ipotesi fondamentali, spesso chiamate «principî», come quella della conservazione dell'energia in fisica. Enunciata in un primo tempo dando al termine 'energia' un senso definito, mediante la sola considerazione dei movimenti (energia cinetica, potenziale), essa viene mantenuta nei casi in cui l'esperienza e la teoria sembrano metterla in scacco, grazie a un'estensione della definizione del termine (energia termica, chimica, energia del campo elettromagnetico, e infine assimilazione della massa a energia). Tali ipotesi non valgono dunque solo per il fatto che governano la grammatica del linguaggio scientifico? Non sono dunque altro che «definizioni mascherate»?

La tesi radicale sostenuta da Edouard Le Roy afferma che la scienza altro non è che l'espressione in un certo linguaggio di un insieme di regole d'azione, e che queste regole d'azione sono in larga misura convenzionali. Sono, è vero, convenzioni che «hanno successo», ed è evidente che il problema sta tutto nella natura, nell'estensione e nel motivo di questo successo. Poincaré, alla cui filosofia si è spesso dato il nome di «convenzionalismo», ha criticato con molta lucidità questa forma estrema di nominalismo e di anti-intellettualismo.

Il fatto che i principî ipotetici posti dalla scienza siano delle convenzioni significa solo, dice Poincaré [1904], che il linguaggio nel quale si identificano e si descrivono i fatti resta una creazione provvisoria del pensiero. Quando il linguaggio si rivela inadeguato a formulare in modo sufficientemente preciso e coerente nuovi risultati sperimentali viene modificato. Si deve dunque concludere che ogni ipotesi altro non è che una definizione nominale? Questo significherebbe dimenticare da un lato che se un principio non è, propriamente parlando, una congettura che possa venir confutata dall'esperienza, è d'altronde l'esperienza che, in ultima istanza, suggerisce un'analisi piú fine dei termini nei quali esso è enunciato. Dall'altro lato significa dimenticare anche che tali ipotesi sono formulate per permettere la deduzione di nuove conseguenze, e in nessun caso per ridurre le proposizioni della scienza a tautologie.

Cosí, nel momento stesso in cui Einstein elabora la sua teoria della relatività speciale, Poincaré, esaminando l'incompatibilità dell'elettrodinamica maxwelliana e della meccanica classica, individua l'eventualità di una rifondazione di quest'ultima e della formulazione di una nuova ipotesi fondamentale, secondo la quale crescendo l'inerzia con la velocità, la velocità della luce diventerebbe un limite insuperabile. Il linguaggio della vecchia dinamica non sarebbe allora altro che un'espressione approssimata, piú semplice, dei fenomeni, valida tuttavia per le velocità incontrate fino ad allora, di modo che «non dovremmo rimpiangere di aver creduto ai principî» classici. È importante osservare qui che i termini di questo esempio – 'inerzia', 'velocità della luce' – non designano in alcun modo dei fatti immediati d'esperienza. Il principio o ipotesi fondamentale della relatività speciale, suggerito con tanta perspicacia da Poincaré, non è dunque, propriamente parlando, una congettura che verte su fatti. Non si riduce tuttavia a una semplice ridefinizione arbitraria dei termini. Postula una forma generale di funzionamento della natura che sarà proprio Einstein a esplicitare: in questo caso particolare egli parte dall'assunto che la descrizione dei fenomeni fino ad allora studiati dalla meccanica deve iscriversi nello stesso quadro di quella dei fenomeni elettromagnetici, e deve rimanere la stessa per sistemi di riferimento in moto relativo rettilineo e uniforme.

Nella misura in cui poggia su simili postulati, ogni scienza è radicalmente ipotetica, ma il carattere arbitrario delle ipotesi consiste solo nel fatto che esse delineano il quadro di una conoscenza il cui contenuto non può che essere tratto, in ultima analisi, da un'esperienza bruta, a meno di degenerare in fantasmagoria. La ricerca in geometria, a questo riguardo, è esemplare e insieme ingannevole. Per molto tempo si è creduto che si limitasse a presentare in forma esplicita e dettagliata le leggi di una realtà originaria, unica e costitutiva di ogni rappresentazione dei fenomeni. La costruzione delle geometrie non-euclidee, mostrando la pluralità dei divergenti sistemi di rappresentazione della spazialità, ha insegnato che le «ipotesi che stanno alla base della geometria» non sono in quanto tali constatazioni di fatti, bensí regole di rappresentazione di oggetti astratti. Poincaré ha voluto vedervi delle varianti di una stessa struttura che preesisterebbe nel nostro spirito, la struttura generale di gruppo, tra le quali la forma euclidea verrebbe scelta in quanto piú comoda per organizzare le nostre percezioni e la rappresentazione dei nostri movimenti. Sia o no vera questa tesi circa l'organizzazione primitiva del nostro comportamento, sembra proprio comunque che a livello di conoscenza scientifica domini tale pluralità di sistemi di riferimento. La storia della scienza ci mette costantemente sotto gli occhi questa molteplicità, sia in periodi successivi, sia anche simultaneamente. Le ipotesi concettuali della scienza sono proprio delle regole che consentono di strutturare il sistema della nostra rappresentazione dei fenomeni; dipendono dal modo in cui noi isoliamo questi fenomeni e definiamo i nostri concetti in un dato stato dei nostri mezzi d'osservazione e di manipolazione sperimentale. In sé non costituiscono affatto delle congetture concernenti i fatti, ma consentono, muovendo dall'esperienza, di dedurre delle congetture attraverso catene di ragionamenti e successioni di procedure. L'orientazione positiva del progresso della scienza significa che la revisione delle ipotesi si effettua sempre, in fin dei conti, nel senso di una sistematizzazione piú completa e di una crescente efficacia della deduzione. Confrontando per esempio le ipotesi atomiste degli antichi, di Descartes, di Rutherford, di Bohr, ciò che colpisce è il dispiegarsi di un'immaginazione creatrice sempre piú ricca e sottile, e nello stesso tempo la facoltà di riconoscere e produrre degli effetti nuovi. Ma avviene anche che l'ipotesi si stabilisca su un terreno sempre piú lontano dall'esperienza immediata e diventi sempre interpretabile in un linguaggio atto a descrivere il mondo sensibile. Kuhn [1962] ha di recente insistito su una concezione della storia della scienza che metta in luce una successione discontinua di sistemi di vincoli che, in un'epoca e in una società date, imprigionano la scienza in un quadro rigido. La forma dei problemi posti, delle soluzioni attese, delle operazioni effettuate, sarebbe dettata dalla necessità di conformarsi a questi «paradigmi» ufficiali. All'interno di questo quadro, la formulazione delle ipotesi verrebbe cosí orientata da un medesimo atteggiamento intellettuale, nello stesso tempo garante di una esplorazione metodica e ostacolo a un fecondo rinnovamento. Non si può negare questo aspetto stabilizzatore dello sviluppo della scienza: il progresso è condizionato in primo luogo dalla conservazione provvisoria di grandi configurazioni di equilibrio, determinate appunto da ipotesi concettuali abbastanza comprensive e abbastanza ricche di conseguenza. Si può parlare a grandi linee di un'astronomia tolemaica, di una fisica newtoniana, di un'economia paretiana. Ma non è possibile essere d'accordo con Kuhn quando afferma che tali paradigmi costituirebbero dei sistemi incomunicabili, e che il contenuto della scienza newtoniana, per esempio, sarebbe intraducibile in concetti einsteiniani. Un sistema di ipotesi nasce invece da un sistema anteriore e lo distrugge solo nella misura in cui ne rivela il senso e riesce a collocarlo in una prospettiva che gli permette di dominarlo.

4. *La verifica delle ipotesi.*

Si vede dunque che la qualifica di vero o di falso non può essere applicata senza sfumature all'ipotesi scientifica. Una congettura che verte su un fatto direttamente accessibile alla nostra percezione certamente dipende in modo convincente da tale giudizio: dietro quel fogliame, su quel ramo che oscilla, c'è un uccello; basta andare a vedere. Ma se affermo che «La Terra gira» il significato empirico della mia congettura è già piú complesso da stabilire. Contraddice l'osservazione immediata: nessuna delle sensazioni che normalmente accompagnano una rotazione si manifesta. Ma nel quadro di una rappresentazione piú comprensiva posso concepire e organizzare esperienze dai risultati immediatamente sensibili, che concorderanno o no con i fenomeni caratteristici di tale movimento, per esempio la rotazione lenta del pendolo di Foucault.

Quanto a un'ipotesi come quella di Avogadro, secondo cui a parità di volume un gas qualunque contiene lo stesso numero di molecole nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, la sua validità sembra a prima vista dipendere da un'operazione empirica elementare: la conta di oggetti, o almeno l'evidenziazione dell'uguaglianza dei due numeri. Ma si sa bene che tale procedura in questo caso è in realtà sprovvista di senso e che la validità dell'ipotesi non dipende piú da un'osservazione, anche indiretta, del fatto che sembra affermare; dipende dall'esperienza solo attraverso conseguenze molto elaborate all'interno di un sistema concettuale complesso. Si potrebbe sostenere che nella scienza tutti i gradi intermedi fra questi tre esempi si presentano e che anche l'ipotesi fattuale apparentemente piú accessibile all'esperienza immediata chiama in causa già delle convenzioni concettuali non appena si voglia determinare con precisione il contenuto pertinente di questa esperienza. A rigore questo è vero. Nondimeno, queste differenze di grado generano delle differenze epistemologiche funzionali, e non si può non vedere che vi sono, nella scienza, delle ipotesi locali e puntuali che svolgono il ruolo di un rinvio diretto ai fatti e sono subordinate all'eventualità di un rifiuto puro e semplice, e delle ipotesi-quadro alle quali si può riservare il nome di concettuali per eccellenza, suscettibili di elaborazioni, reinterpretazioni, integrazione in sistemi che le rinnovino.

La verifica delle ipotesi di tipo fattuale, benché sia riconducibile in via di principio a delle constatazioni, solleva tuttavia il problema classico dell'induzione. Un enunciato scientifico concerne sempre, in realtà, un fatto *generico*, spogliato delle singolarità che, in un'esperienza reale, ne fanno un avvenimento individuale. Verificare strettamente una congettura esigerebbe dunque un censimento di tutti i casi individuali di realizzazione di questo fatto. L'atto dell'induzione decide che l'osservazione di un numero finito di casi è sufficiente a fondare l'ipotesi. Un atteggiamento piú radicale e piú formale consiste nel riconoscere come pienamente valida solo l'argomentazione inversa: per la confutazione di un'ipotesi basta stabilire un solo controesempio; ma

la verifica mediante casi favorevoli non è mai piú che plausibile. Popper [1959] ha tratto da questa osservazione un criterio di accettabilità: perché un enunciato sia ammissibile come scientifico, bisogna che si possa concepire un'esperienza capace di fornirne un controesempio, deve cioè essere accessibile alla confutazione. Questo si applica sicuramente senza restrizione alle ipotesi fattuali; quanto alle ipotesi concettuali, vi si ritornerà per introdurre delle sfumature.

Se l'ipotesi fattuale generica non può, strettamente parlando, essere stabilita dall'esperienza, resta il fatto che quest'ultima può fondarne la plausibilità. Le teorie dell'induzione, partite da considerazioni logiche semplici con John Stuart Mill, si sono sviluppate in seguito sotto forma di costruzioni logico-matematiche che utilizzano il calcolo delle probabilità e la teoria dei giochi. Si basano sull'idea di una strategia delle scelte tra molteplici ipotesi fondata sull'attribuzione di «valori» e di «costi» ai successi e agli errori, e sulla definizione di regole di decisione che massimizzano un criterio legato ai risultati aleatori della congettura. Il ricorso a test statistici è ovviamente essenziale per la stima del valore dei parametri e delle costanti in tutti i domini. Ma la sua estensione sembra essere tanto piú ampia – se non tanto piú sicura – quanto piú si tratta di parti della scienza ancora poco sviluppate, in particolare nelle scienze dell'uomo. Tale procedura di convalida si presenta piuttosto come procedimento euristico, perché le ipotesi, anche fattuali, della scienza sono sempre virtualmente il punto di partenza di un'elaborazione che le collega a strutture fortemente concettualizzate, il cui tipo di validità, benché non immediato, è il solo atto a soddisfare pienamente un ideale razionale. L'ipotesi – che pure è fattuale – del duplice movimento della Terra, diventa davvero valida, feconda ed elegante solo se integrata nell'ipotesi concettuale di una teoria della gravitazione.

Si è cosí rinviati alla convalida di quest'ultimo tipo di ipotesi. Per lo piú tali ipotesi si presentano sotto la forma complessa di «teorie» e non possono venir formulate come enunciati isolati. Se lo fossero, si tratterebbe allora di una semplificazione apparente, che lascia sottinteso l'apparato concettuale senza il quale questa formulazione non avrebbe senso. Cosí è, per esempio, dell'enunciato: «L'entropia di un sistema isolato non può diminuire». Si richiede non tanto che tali ipotesi siano direttamente confermate da risultati sperimentali quanto che permettano delle deduzioni lontane che spieghino in modo coerente dei nuovi fenomeni. Einstein, muovendo dalle ipotesi della relatività generale, rende conto dell'anomalia (nell'ipotesi newtoniana) del movimento del perielio di Mercurio. Non si può dunque dire che tali ipotesi siano verificate dall'esperienza in quanto proposizioni isolate. Duhem [1906] l'aveva già osservato notando che è il sistema nel quale entrano che è sottoposto in blocco al controllo sperimentale. Quine [1960] andrà piú lontano sostenendo che i sistemi teorici stessi sono largamente sottodeterminati rispetto a ogni osservazione *possibile*, e che diversi insiemi d'ipotesi *logicamente* incompatibili potrebbero tuttavia essere *empiricamente* equivalenti. Ma negli esempi ai quali si potrebbe pensare – come le due teorie corpuscolare e ondulatoria

per il fenomeno luminoso, e la loro «sintesi» nella meccanica quantistica – si può parlare d'incompatibilità logica solo se si afferma che un oggetto *è* nello stesso tempo un'onda e un corpuscolo; dunque si tratta di due modi di rappresentazione che costituiscono degli universi concettuali differenti e non di proprietà percettibili di oggetti; non sono logicamente incompatibili piú di quanto lo siano, per esempio, la teoria metrica delle coniche di Apollonio e la teoria proiettiva. D'altra parte non è del tutto esatto dire che i due sistemi sono empiricamente equivalenti: i loro poteri esplicativi coincidono solo in parte e sono complementari. La storia delle scienze ci mostra che, quando viene accettata una delle ipotesi rivali, essa si impone sempre sia per l'ampiezza dei risultati di cui consente la spiegazione, sia per l'interpretazione che suggerisce degli aspetti positivi e degli aspetti negativi delle ipotesi che essa esclude.

In compenso, però, è sempre vero, come ha insistito Popper, che il successo di un'ipotesi ha valore solamente se è formulabile in termini tali che l'esperienza possa confutarla. In mancanza di ciò l'informazione che dà sarebbe nulla, perché compatibile con qualsiasi risposta data dalla natura alle domande che le si possono porre. Tuttavia l'esperienza non potrebbe costringerci a respingere un'ipotesi concettuale altrettanto chiaramente di quanto ci costringa a rifiutare una congettura di fatto. In quest'ultimo caso si può dire che l'esperienza risponde sí o no, o almeno, se si tratta di un dato statistico, che dà il mezzo per scegliere calcolando i rischi di errore. Non cosí per l'ipotesi concettuale, che può sempre essere «immunizzata», secondo l'espressione adottata da Popper [1959]. È questione d'immaginazione e d'ingegnosità. La storia dei sistemi geocentrici è ancora un eccellente esempio: li si salva inventando gli eccentrici e gli epicicli per correggere gli scarti tra i movimenti osservati e i movimenti rappresentati. Allo stesso modo, in concorrenza con la relatività speciale, alcuni fisici immaginano delle ipotesi sul comportamento dell'etere che permettono di spiegare la costanza della velocità della luce e immunizzano apparentemente l'ipotesi classica dell'etere contro il risultato negativo dell'esperienza di Michelson e Morley. Si tratta, è vero, di esempi negativi, perché una nuova ipotesi sarà decisamente adottata nei due casi. Ma si possono citare dei casi positivi: il piú noto non è forse quello della scoperta di Nettuno? Le ipotesi newtoniane della meccanica celeste apparentemente falliscono nel fare calcolare l'orbita osservata di Urano. Mentre si poteva concludere che erano state confutate, Le Verrier tentò invece di salvarle a prezzo di una congettura di fatto: la presenza di un oggetto perturbatore non percepito del quale le ipotesi newtoniane permettono appunto di calcolare l'orbita. Ecco un'ipotesi fattuale introdotta come complemento del dominio sperimentale su cui verteva l'ipotesi concettuale, e che in sé dipende esclusivamente da una verifica empirica immediata e decisiva: Le Verrier indicò il punto del cielo e il momento in cui il telescopio di Gal avrebbe scoperto il pianeta Nettuno.

5. *L'ipotesi ai confini della scienza.*

Nella maggior parte dei domini dai quali si sono tratti gli esempi, il carattere dubbio dell'ipotesi si trova ricacciato in secondo piano, soppiantato dalla sua capacità di costruzione e di predicazione. L'ipotesi, tuttavia, resta sempre fondamentalmente il prodotto di un'immaginazione audace, che accetta di impegnarsi senza essersi garantita un appoggio all'inizio. Su questo punto potrebbe servire d'esempio la situazione delle scienze dell'uomo, cosí come la situazione particolarmente istruttiva di quella disciplina ai confini dell'astronomia e della fisica che è la cosmologia moderna.

Spesso, nelle scienze dell'uomo, come le si vuol costituire oggi, l'ipotesi conserva ancora caratteri arcaici simili a quelli che possedeva nelle scienze della natura prima della rivoluzione epistemologica del XVII secolo.

1) Per esempio le ipotesi sono delle semplici constatazioni del senso comune, valide senza alcun dubbio al loro livello, ma inutilizzabili ove si cerchi di dare una forma e un contenuto sufficientemente preciso alle nozioni alle quali rinviano i loro termini. È vero che tali aforismi possono servire da guida a una pratica concreta e individuale, ma questa pratica allora è un'*arte*, per la quale i precetti svolgono un ruolo di semplice quadro abbastanza sfumato. Nella conoscenza scientifica – che può certo, una volta costituita, moltiplicare i poteri d'azione nelle situazioni singolari e concrete – il sistema delle nozioni ha efficacia solo se esse tendono a inquadrarsi in concetti dai contorni distinti e ben concatenati gli uni con gli altri. Ora, la formulazione di ipotesi che risponde alla descrizione che è stata data sopra si scontra in questo dominio dei fatti umani con la difficoltà di costruire dei concetti che possano al tempo stesso entrare in una combinatoria astratta e ricollegarsi immediatamente o mediatamente, tramite procedure governate da regole, all'esperienza.

2) Le ipotesi, nelle scienze dell'uomo, sono anche molto spesso delle tesi filosofiche piú o meno mascherate da constatazioni fattuali. Vale a dire che sono delle interpretazioni del vissuto che gli dànno un senso e le cui conseguenze sono presentate come una conoscenza oggettiva dei fatti, mentre costituiscono piuttosto un'etica o una strategia per modificare o dominare la nostra condizione umana. L'ostacolo che si viene cosí a creare al cammino della scienza proviene dal fatto che tali ipotesi si sottraggono per loro natura a qualunque controllo. Non solo sono formulate in termini che si rapportano a ideali e non a oggetti d'esperienza, ma inoltre sono a priori «immunizzate» in quanto tali contro qualunque fallimento: l'insuccesso delle conseguenze che se ne traggono potrà sempre essere attribuito a circostanze sfavorevoli piuttosto che a un difetto dei principî. L'incomparabile fascino di una «conoscenza» globale dell'uomo istituita su questo modello resta ancor oggi uno degli ostacoli principali al pensiero scientifico, proprio nella misura in cui il prestigio che a questo conferisce lo sviluppo delle scienze della natura porta a voler a tutti i costi spacciare per scienza dell'uomo delle filosofie della condizione umana.

3) Infine, allorché, nell'intenzione di sfuggire alle due tentazioni appena denunziate, si cerca di formulare delle autentiche ipotesi di tipo scientifico, la loro astrazione e aridità contrasta a tal punto con la complessità dell'esperienza da risultare deludente. L'esempio piú compiuto e conseguente di tale impresa viene probabilmente dall'economia politica come è stata concepita alla fine del XIX secolo dai marginalisti e sviluppata dai neoclassici. Si può qui paragonare lo status dell'ipotesi a quello dei principî della meccanica e della fisica, che ben si prestano all'applicazione della matematica. Ma mentre l'edificio astratto delle scienze della natura mantiene dei rapporti costanti e operativi con l'esperienza, i sistemi elaborati con questo stesso stile dall'economista ne restano separati senza alcuna speranza. Se ne potrebbe concludere l'impossibilità di costituire delle scienze dell'uomo; ma le diverse realizzazioni delle stesse scienze della natura nel corso della loro preistoria autorizzano piuttosto a pensare che non si è ancora scoperto, nelle scienze dell'uomo, il modo adeguato di formazione delle ipotesi.

La cosmologia e cosmogonia contemporanee presentano un altro esempio di uno stile non convenzionale e contestato di ipotesi scientifiche. Le speculazioni sulla natura globale, l'evoluzione e l'origine stessa dell'universo sono di fatto diventate questione scientifica, grazie a due eventi epistemologici decisivi: lo sviluppo di una teoria del campo gravitazionale nella relatività generale (Einstein) e l'interpretazione da parte di Hubble e Humason del fenomeno di *red shift*, slittamento verso il rosso della luce proveniente da lontane galassie, come un'«espansione dell'universo» (1929). Da questo momento in poi sono stati via via presentati «modelli» di universo, dal primo universo einsteiniano, nel quale lo spazio è infinito ma chiuso su se stesso e di curvatura costante, fino ai modelli cosmogonici di Lemaître (1931), di Gamow (1949), di Hoyle (1948), che descrivono la formazione dell'universo a partire da un'origine del tempo. Per mostrare la straordinaria audacia di questo stile d'ipotesi, ci si limiterà a indicare l'articolazione di alcune di esse.

1) Muovendo dalla teoria della relatività generale, che costituisce essa stessa una fitta trama d'ipotesi concettuali, di deduzioni, di calcoli e di conferme empiriche, risulta che: *a*) Ogni legge fisica deve potersi esprimere nella medesima forma in qualsiasi sistema di coordinate. Dal momento che oggetti matematici detti *tensori* sono tali da essere descritti in un sistema di coordinate che, se si annullano in quel sistema si annullano in ogni altro, una legge fisica potrà esprimersi in modo comodo e naturale scrivendo semplicemente che un certo tensore è nullo. *b*) La struttura geometrica dello spazio-tempo, che definisce i vincoli ai quali sono soggetti i cambiamenti di coordinate realizzabili, dipende unicamente dalla distribuzione dell'energia in tutte le sue forme nell'universo. Questi vincoli, in quanto modificano la rappresentazione delle traiettorie inerziali delle masse libere, equivalgono alla postulazione di un campo variabile di gravitazione universale.

2) L'«equazione di campo» che lega la struttura geometrica dello spazio-tempo alla distribuzione di energia, viene formulata scrivendo che un tensore che caratterizza questa distribuzione è identicamente uguale a un tensore che caratterizza la geometria dell'universo. La scelta della forma di quest'ultimo tensore è determinata da un'analogia con l'equazione newtoniana del campo gravitazionale e da considerazioni matematiche puramente formali comportanti a detta di Einstein [1916], «un minimo di arbitrarietà».

3) Per passare alla costruzione di ipotesi precise circa la struttura spazio-temporale dell'universo, occorre introdurre nell'equazione importanti semplificazioni, alcune delle quali sono suggerite dall'osservazione astronomica (distribuzione apparentemente omogenea delle galassie), altre sono ipotesi «fisiche» coerenti con la forma matematica del sistema (identificazione del contenuto materiale dell'universo con un «fluido perfetto» di materia e di radiazione). Le equazioni cosí ottenute (Robertson, Friedman) permettono allora di rendere conto del *red shift*, e lasciano ancora la scelta, a seconda del valore dei parametri, tra varie ipotesi sulla forma, il divenire e l'età dell'universo.

4) A partire da ciò che si sa sulla fisica nucleare e sulle condizioni termodinamiche dedotte dai modelli, s'immaginano degli scenari piú o meno precisi d'interazione, creazioni d'atomi, emissioni di radiazioni. I fenomeni osservabili che possono essere interpretati come punti di collegamento empirico di queste cosmogonie sono costituiti soprattutto dalle sorgenti radio lontane e dalla radiazione di fondo scoperta nel 1965 e identificata con il residuo della radiazione emessa dal nucleo originario dell'universo al principio della sua storia.

L'ipotesi scientifica resta qui senza dubbio assoggettata al controllo molto vincolante del pensiero deduttivo, e pronta a sottomettersi alle esigenze imposte dall'osservazione e dall'esperienza che sono del resto molto lontane dal poter fornire una base di conferma o di immediata smentita. Ma l'eccezionale libertà qui concessa all'immaginazione e all'audacia intellettuale deve far comprendere quanto la formazione e lo sviluppo delle ipotesi, anche nei settori piú normali e di routine della scienza, resta agli inizi un'opera creativa e sempre avventurosa della ragione. [G.-G. G.].

Duhem, P.
1906 *La théorie phisyque, son objet et sa structure*, Chevalier et Rivière, Paris (trad. it. Il Mulino, Bologna 1978).

Einstein, A.
1916 *Die Grundlage der allgemeine Relativitätstheorie*, n «Annalen der Physik», (4), 49, pp. 769-822 (trad. it. in M. Pantaleo (a cura di), *Cinquant'anni di relatività*, Editrice Universitaria, Firenze 1955).

Kuhn, Th. S.
1962 *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago (trad. it. Einaudi, Torino 1976³).

Maxwell, J. C.
1873 *Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford (trad. it. Utet, Torino 1973).

Newton, I.
1704 *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, Smith and Walford, London.

Newton, I.
1713 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Crownfield, Cambridge 1713[2] (trad. it. Utet, Torino 1965).
Poincaré, H.
1904 *La valeur de la science*, Flammarion, Paris.
Popper, K. R.
1959 *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London (trad. it. Einaudi, Torino 1976[3]).
Quine, W. van Orman
1960 *Word and Object*, Mit Press, Cambridge Mass. (trad. it. Il Saggiatore, Milano 1970).

Le ipotesi consistono tanto in congetture su fatti, quanto, in nome della propria **coerenza** ed efficacia esplicativa (cfr. **spiegazione**), nella proposizione di un **concetto**; in quest'ultimo caso l'ipotesi si presenta come un **modello** astratto (cfr. **astratto/concreto**). Tale congettura si può provare, ma, nelle **matematiche**, può darsi che essa si converta in un nuovo assioma (cfr. **assioma/postulato**).

Le modalità di **rappresentazione** del **reale** sono diverse a seconda dei tipi di ipotesi. Esse possono essere analogiche (cfr. **analogia e metafora**), fornendo un'**immagine** sensibile (cfr. **sensi**) all'origine della **immaginazione**, della **creatività**; possono anche annunziare dei fatti, oppure possono venir formulate a partire da una teoria (cfr. **teoria/pratica**) stabilita. (cfr. **anticipazione, caso/probabilità**).

Fra i problemi posti dalle ipotesi va considerato il loro rapporto con l'**empiria/esperienza** da cui si allontanano in diverso grado, e inoltre la **misura** della loro convenzionalità (cfr. **convenzione, paradigma**) e la loro **verificabilità/falsificabilità** (cfr. anche **induzione/deduzione, legge**). Nel sistema della **scienza** l'ipotesi è il dominio in cui l'**invenzione** interviene al massimo grado e in cui vi è il minimo di **riduzione**, come appare da parecchi esempi delle **cosmologie** contemporanee (cfr. **universo**).

Matematiche

«Lascia le donne e studia la matematica». Per l'avvenente cortigiana veneziana che dava un tale consiglio a Jean-Jacques Rousseau è certo che la matematica doveva rappresentare in assoluto la scienza piú severa, piú rigorosamente estranea alle alterne vicende della vita che incantano e turbano il cuore umano. Scienza i cui teoremi sono irrimediabilmente validi, scienza totalmente inattaccabile dalle insufficienze e dalle oscurità dell'umana conoscenza dei fenomeni, scienza il cui potere risiede tutto nell'uso corretto dell'intelletto, forse della ragione: tal è l'immagine che di solito evoca la parola 'matematica'. Certo, a buon diritto. Ma è proprio questo privilegio, a dire il vero unico, che ha da sempre affascinato i filosofi, li ha insospettiti, nutrito i loro entusiasmi e talvolta perfino causato in loro errore e confusione.

Ci si propone qui di mettere in evidenza qualche problema che la mente umana non cessa di formulare nei riguardi di una delle sue creazioni piú antiche, piú stabili e piú paradossali:

1) La conoscenza matematica attraverso i secoli è in certo senso immutabile; che cosa s'intende dunque per *storia* delle matematiche?
2) La matematica tratta di oggetti che in larga misura si sottraggono all'esperienza; cos'è dunque un *oggetto* matematico?
3) La matematica si presenta come conoscenza totalmente sicura; perché è allora necessario cercare un *fondamento* alle matematiche?
4) La matematica è una conoscenza ideale; *a cosa servono* dunque le matematiche?

1. *Esiste una storia delle matematiche?*

1.1. Platone e Aristotele.

Da un certo punto di vista la matematica, come i popoli felici, non ha storia. Come diceva Condorcet, deluso dalla politica, in una lettera al suo amico Turgot dell'ottobre 1773, essa è la sola cosa al mondo che va sempre bene. Di fatto il matematico del 1980 può ancora leggere Euclide non soltanto pieno della estatica ammirazione che un monumento del genio classico sa ispirare – come se leggesse Dante o Shakespeare – ma anche con la certezza che i suoi teoremi sono *veri*. Chi non si accorge tuttavia che, dal tempo dei Greci, non solo la nostra conoscenza s'è accresciuta, ma l'idea di scienza, che continua a portare lo stesso nome, ha subito notevoli trasformazioni e gli stessi concetti di cui si serve si sono profondamente evoluti senza essere però *invecchiati*?

È dunque chiaro che l'idea stessa della matematica si è evoluta sia attraverso le descrizioni e le giustificazioni che di tale scienza matematici e filosofi hanno

successivamente proposto, sia attraverso la pratica effettiva di coloro che l'hanno coltivata. Già nell'antichità la matematica viene interpretata sotto due punti di vista totalmente diversi che verranno schematizzati, per semplicità, riferendoli uno a Platone, l'altro ad Aristotele. In verità essi concordano nel considerare la matematica come la scienza di un certo tipo dell'essere, in opposizione a quelle conoscenze che perverrebbero a mere apparenze. In Platone ciò ch'è apparenza è tutto ciò che partecipa del sensibile. La matematica è allora essenzialmente concepita come la prima specie di conoscenza che ci eleva verso l'intelligibile. Prende posto in una scala che viene metaforicamente descritta dalla «linea» della *Repubblica* [VI, 509d]: il primo segmento della linea rappresenta il «genere visibile», diviso esso stesso in una porzione rappresentativa delle «copie» e in una porzione rappresentativa dei corpi, naturali o artificiali, degli «animali che ci circondano, ogni sorta di piante e tutti gli oggetti artificiali» [*ibid.*, 510a]. Il secondo segmento inizia dagli esseri matematici e finisce con le Idee. Le μαθήματα stanno dunque alle realtà ultime come le «copie» agli esseri sensibili. La gerarchia platonica degli esseri, e il posto che occupa l'oggetto matematico, ci sono piú precisamente noti grazie a un testo critico di Aristotele [*Metafisica*, XIII, 2], d'interpretazione difficile. È comunque certo che Platone considerava gli oggetti matematici a differenti livelli di realtà, ossia secondo la loro distanza sempre piú grande rispetto alle immagini percepite dai sensi. Egli dunque li concepiva non tanto per se stessi, quanto come gradi intermedi tra l'essere fallace del sensibile e la realtà delle Idee.

Del resto, il metodo ch'egli attribuisce al matematico appare anch'esso come una procedura di conoscenza intellettuale propedeutica anziché come un mezzo per giungere a una scienza compiuta. Tale metodo consisterebbe esclusivamente nel porre delle *ipotesi*, a partire dalle quali un ragionamento formalmente corretto – che Aristotele per primo descriverà e codificherà – conduce a rispondere ai quesiti posti. I matematici manipolano le loro definizioni «e pensano che non meriti piú renderne conto né a se stessi né ad altri, come cose a ognuno evidenti» [*Repubblica*, VI, 510c-d]. Certo, gli oggetti matematici si riferiscono all'essere, ma la scienza matematica non lo raggiunge che, per cosí dire, con riserva e in maniera incompleta. La matematica dunque, ben lungi dall'essere considerata da Platone la scienza per eccellenza, costituisce solo il primo grado, senza dubbio indispensabile, d'accesso alla vera scienza delle essenze, ch'egli chiama «dialettica». Concezione questa che permarrà a lungo, del resto, nella tradizione occidentale, perfino nell'ambito delle piú disparate filosofie e di cui si potrebbe trovare riscontro sia in Descartes che in Pascal nel XVII secolo, allorché sia l'uno che l'altro proclamano che le matematiche non servono all'uomo per impegnare le proprie forze, ma solo per saggiarle.

Ciò che caratterizza la concezione aristotelica della matematica è, da un lato, l'esatta determinazione di questa scienza tramite la natura del suo oggetto, dall'altro la giustificazione e l'analisi del procedimento di dimostrazione assiomatica di tale scienza come sarà rappresentato negli *Elementi* di Euclide.

La matematica è una delle tre scienze teoriche che hanno rispettivamente, come oggetti, l'essere immutabile e concreto (teologia), l'essere mutevole e con-

creto (fisica), l'essere immutabile ed astratto (matematica). Il rapporto dell'oggetto matematico al sensibile è perciò qui concepito molto diversamente che in Platone. Sotto una certa ottica piú reali del sensibile, le μαθήματα non sono suscettibili d'alterazione, di generazione, né di corruzione. Sono però, per altro verso, meno reali perché astratte, senza esistenza separata (οὐ χωριστά) [cfr. *Metafisica*, VI, 1, 1026a] esistenti nella materia e non indipendentemente dagli esseri fisici da cui le si può astrarre. Esistono dunque esclusivamente *in potenza*, contrariamente agli enti matematici ideali di Platone. Risulta a noi curioso il fatto che la struttura matematica dei fenomeni, per il fisico aristotelico, svolge il ruolo di una causa *materiale*, in opposizione alla causa formale e alla causa finale, elementi costitutivi della sua essenza e, in ultima istanza, Primo Motore. Peraltro, la specificità rigorosamente conservata dell'oggetto matematico fa sí che Aristotele respinga come inadeguata e perfino sofistica, nella costruzione dei teoremi, ogni considerazione di proprietà cosí generali da non collegarsi direttamente al tipo d'oggetti in causa, in virtú del principio ontologico dell'incomunicabilità dei generi. Non v'è dunque posto, in lui, per una *mathesis universalis* nel senso leibniziano. I principî generali che potrebbero corrisponderle sono attribuiti da Aristotele alla «dialettica», che enuncia regole di pensiero e non proprietà di oggetti. Poiché l'astrazione fondamentale del sensibile è la *grandezza* (μέγεθος), non essendo la quantità (πόσον) un *oggetto* bensí una *categoria*, concetto che attraversa i diversi generi dell'essere, la matematica si divide in teoria della grandezza discontinua (molteplicità o πλῆθος) e teoria della grandezza continua (συνεχής).

Se dunque Aristotele ha fornito con tanta insistenza una definizione ontologica della matematica, con altrettanta chiarezza ha analizzato – senza dubbio per primo – la natura assiomatica della dimostrazione. Vero è che, per questo filosofo, *ogni* scienza degna di tal nome procede a partire da «proposizioni prime, indimostrabili» [*Secondi Analitici*, I, 71b, 27]. Ma in Aristotele il modello di tale procedimento sembra proprio essere stato la matematica, i cui principî propri non sono piú di altri dotati d'un carattere *ipotetico*; come voleva Platone. Non che questa scienza si avvantaggi, agli occhi di Aristotele, di un prestigio dovuto a una qualche preminenza ontologica del proprio oggetto; semplicemente il grado d'astrazione che la caratterizza rende possibile la netta distinzione dei principî e permette di cogliere le linee di deduzione. Ma l'idea aristotelica di «sistema deduttivo» è ancora lontana dall'idea moderna. Se infatti Aristotele formula l'esigenza di fermarsi ai suoi assiomi nella ricostruzione deduttiva, egli rifiuta tuttavia l'idea che i principî possano essere in numero finito [*ibid.*, 88a, 18 - 88b, 30], come anche postula con evidenza il carattere assoluto di tali principî che sono astrazioni, per nulla arbitrarie, dei «sensibili comuni» quando si sperimenta l'essere fisico.

1.2. Descartes e Leibniz.

La pratica dei matematici greci a partire dai pitagorici e particolarmente dopo Euclide (come anche, grosso modo, la pratica dei matematici fino alla rivoluzione causata dalle geometrie non euclidee) si trova fedelmente riflessa nella teoria di Aristotele, essenzialmente per quanto si riferisce al rapporto della matematica col sensibile e all'idea di sistema deduttivo. Ma la filosofia delle matematiche a quanto pare non ha mai cessato d'oscillare tra i due poli di una concezione «platonizzante» e di una concezione «aristotelica». Eccone due esempi, relativi al caso di filosofi che sono essi stessi matematici creatori: Descartes e Leibniz.

Descartes è piú «platonico» nel senso che la sua matematica è, per eccellenza, la scienza della *sostanza estesa* e che gli oggetti di cui essa tratta hanno, per questo, un tipo di realtà molto concreto, che ne fa il fondamento naturale della scienza dei corpi in generale; mentre in una prospettiva «aristotelica» le μαθήματα sono astrazioni, nella prospettiva cartesiana l'oggetto matematico è un essere in senso proprio, che ci si propone di esplorare mediante regole e, per ciò che riguarda le forme geometriche, di descrivere mediante il calcolo algebrico inquadrandolo in un sistema di riferimento che permette di ridurlo a dati numerici. Scienza «dell'ordine e della misura», la matematica cartesiana è in realtà scienza della misura quanto al contenuto e scienza dell'ordine soltanto quanto alla forma: l'ordine non è oggetto dell'analisi cartesiana; esso risiede nella rigorosa osservanza del metodo. L'oggetto consiste nei rapporti tra i punti della superficie, che la definiscono come sostanza, e sono per ciò stesso intelligibili. Per Descartes, codesta intelligibilità si confonde con la comprensione dei rapporti tra grandezze quali l'algebra esprime. Ogni altro rapporto proviene senza dubbio dal dominio ove regna l'unione di anima e corpo: non può essere noto alla matematica. Cosí dicasi delle curve «meccaniche», determinate da relazioni tra le misure delle coordinate non rappresentabili mediante una equazione algebrica. Da tale concezione della matematica come conoscenza *razionale* – ossia algebrica – della sostanza estesa nasce dunque una limitazione a priori molto restrittiva del campo della scienza, limitazione che appare anzitutto trascendentale, poiché fornisce all'oggetto la propria forma solo in ragione del tipo di conoscenza che se ne può ricavare. Ma tale limitazione è in realtà metafisica, poiché non esprime una legge soggettiva, bensí la natura stessa della sostanza estesa.

Se la concezione cartesiana della matematica si può agganciare alla tradizione di Platone, è al filone di Aristotele che bisogna piuttosto far risalire quella di Leibniz. La matematica è per questi la scienza di «tutto ciò che può essere immaginato in quanto chiaramente concepito» [1700, ed. 1863 p. 205]. Come Aristotele, egli associa dunque in maniera essenziale i concetti matematici al mondo sensibile. Ma le conclusioni a cui giunge sono molto diverse da quelle dello Stagirita: dall'immaginazione attinge non solo l'aspetto quantitativo ma anche la «disposizione delle cose». La matematica si dividerà dunque in scienza della quantità in generale e scienza delle combinazioni di oggetti qualunque e i due aspetti caratterizzeranno il doppio dominio d'una *mathesis universalis*.

La combinatoria non appare allora solo come una delle due parti della *mathesis*, definita dal suo oggetto. Essa è riconosciuta da Leibniz come *metodo* fondamentale della matematica, vera e propria arte *d'inventare*, e a tal titolo «parte eminente della logica» [*ibid.*, p. 206], di cui il metodo dell'algebra cartesiana non

costituirebbe che un'applicazione e un esempio, e non, come credette Descartes, l'unico modello. L'*Ars combinatoria*, che si potrebbe definire in termini moderni la piú generale strategia di un pensiero che si muove entro un sistema di segni, si situa, da questo momento, all'origine comune d'una logica e d'una matematica, che certi matematici e filosofi tenteranno piú tardi di far coincidere.

1.3. Precisione e rigore.

Dalla succinta esposizione di tali esempi, si constata che l'idea stessa di una matematica non può essere considerata come immutabile e data *ex abrupto*. Essa è evoluta e senza dubbio continuerà ad evolvere, seguendo il prodigioso sviluppo di una scienza il cui senso presenterà sempre nuovi aspetti. Tale evoluzione non dipende solo dal progresso stesso della matematica, ma si associa all'intermittente flusso delle filosofie in generale. In certi periodi, infatti, le scoperte matematiche e l'interpretazione da esse sollecitata nel filosofo alimentano l'insieme della sua dottrina; altre volte una prospettiva filosofica fortemente organizzata induce una certa idea della scienza.

È tuttavia possibile, attraverso le metamorfosi di una filosofia della matematica, mettere in evidenza alcuni tratti salienti di un'idea della matematica, tratti che si sono via via delineati, comunque si trovino a far parte integrante di diverse concezioni filosofiche. Cosicché la storia dell'idea di matematica potrebbe riassumersi nella presa di coscienza sempre piú netta delle nozioni di rigore e di precisione. Nozioni in sé certamente banali, il cui senso è peraltro costantemente rinnovato e approfondito dal pensiero matematico. Piú o meno indirettamente, i filosofi della matematica contribuiscono ad attualizzare e a formulare tale senso, conformemente allo stato della scienza e alle interpretazioni globali che i filosofi si sono forgiati dell'attività e dell'opera dell'uomo.

La precisione è stata dapprima inquadrata come valutazione di grandezze. Se si paragona ciò ch'è a noi giunto della scienza del calcolo e delle figure, praticata in Oriente prima dello sviluppo della civiltà ellenica, con l'aritmetica e la geometria dei Greci, si nota che la ricerca di una determinazione precisa della misura delle grandezze per mezzo dei numeri ha costituito uno dei motivi del progresso matematico. Una teoria dei numeri razionali come *corpo di frazioni* degli interi è il primo passo importante in tale direzione. La scoperta dell'impossibilità di una misura razionale della diagonale di un quadrato rispetto al proprio lato, mentre evidenzia l'inesorabile limitazione della precisione in tal modo intesa, conduce a concepire un'idea nuova. Con la bella costruzione, dovuta a Eudosso e formalizzata da Euclide, di una teoria dei rapporti qualsiasi tra grandezze, la precisione chiarisce il suo profondo significato, che è e resterà sempre quello dell'imbrigliare nozioni «fluide» mediante concetti opportunamente definiti. Anche se l'idea di quantità e di numero – e stranamente di numero intero – continuano ad essere considerate concetti fondamentali, perfino oggetti matematici per eccellenza, i matematici sono orientati, in un lontano avvenire, a oltrepassare tale dominio e a centrare su altro tipo d'oggetti la ricerca della precisione.

L'esigenza del rigore s'è manifestata fin dalle origini della matematica greca come volontà di esporre esplicitamente tutti i principî del ragionamento e di dare ad esso una forma regolata, quasi rituale. Almeno a partire da Euclide – e senza dubbio anche prima di lui – l'opera standard del matematico è del tipo di un libro di elementi – Στοιχεῖα –, ossia di una raccolta di proposizioni da cui le altre discendono, proprio come le lettere dell'alfabeto (indicato in greco con lo stesso termine) servono a costruire tutte le parole di una lingua. L'idea di basare tutti gli sviluppi possibili di una teoria su un insieme ben delimitato di nozioni e di principî è senza dubbio essenziale ad ogni pensiero speculativo; ma è proprio la matematica che ha dato e dà ancora oggi a tale idea il suo senso piú compiuto. Tali principî sono stati dapprima considerati come rivelatori della *natura* delle cose materiali oppure capaci d'esprimere, anteriormente all'esperienza, le condizioni di ogni esperienza su tali cose e della loro idealizzazione come oggetti. Allorché i matematici, dopo lunghi secoli di sforzi vani per dimostrare il quinto postulato d'Euclide, scopersero che «geometrie» coerenti possono essere costruite sostituendo a tale postulato altri postulati con esso incompatibili, fu compiuto un decisivo passo avanti. Ormai si sa che il rigore matematico può essere applicato per cosí dire nel vuoto. Bisogna insistere sull'importanza di tale rivoluzione non-euclidea per prendere coscienza dei poteri del pensiero rigoroso. Unica tra tutte le conoscenze alle quali viene attribuito il nome di scienza, la matematica può tenersi in piedi solo in virtú del proprio rigore.

Vero è che i vincoli quasi ritualistici ai quali i matematici ellenici avevano sottomesso questi procedimenti orientavano l'attenzione, fin dalle origini, verso la limpidezza e per cosí dire l'incorruttibilità della dimostrazione. Ogni teorema d'Euclide si presenta in una forma quasi immutabile: un enunciato della proposizione (πρότασις), una delucidazione degli elementi della figura (ἔκθεσις), una applicazione dell'enunciato alla figura (διορισμός), una costruzione (κατασκευή), una dimostrazione propriamente detta (ἀπόδειξις), infine, una conclusione (συμπέρασμα). Tale retorica, che può apparire ridondante, è chiaramente il segno della cura che il geometra pone nel fornire i mezzi di controllo del suo procedere e nell'essere sempre fedele alla regola che s'è imposta. Mentre la forma rigida del poema matematico diventa piú flessibile, per esempio in Archimede, il metodo di dimostrazione rimane altrettanto rigido. Si sarebbe dunque portati a credere che la ricerca di un modo canonico d'espressione renda immobile il pensiero matematico. Tale ricerca è invece principio di movimento. Se il rigore si trova, infatti, esemplarmente definito per secoli nell'opera d'Archimede, tuttavia proprio in un testo perduto e poi ritrovato del geometra alessandrino ci è dato di scoprire la sua relatività e il senso di profondo dinamismo del pensiero che esso esprime. Verrà ora brevemente analizzato il celebre esempio della quadratura della parabola.

Alla proposizione 24 del trattato che porta tale titolo, Archimede dimostra che il segmento compreso tra l'arco di parabola ABC di vertice B, e la corda AC, vale i $4/3$ dell'area del triangolo ABC, «avente stessa base e uguale altezza» (fig. 1).

La strategia della dimostrazione consiste, *partendo dalla congettura* «Segmento $ABC = 4/3$ Triangolo ABC», nello stabilire che l'area del segmento non può essere né inferiore né superiore al valore ipotizzato senza contraddire le proprietà derivanti dalla natura della parabola.

Sia Z l'area del triangolo ABC e sia $K = (4/3)Z$. Si parte dall'ipotesi: Segmento $ABC > K$.

Si costruiscano nei sotto-segmenti ADB e BEC dei triangoli i cui vertici D ed E siano le intersezioni con l'arco dei diametri relativi alle corde AB e BC. È stato già dimostrato (proposizione 20) che l'area d'un tale triangolo supera la metà del segmento nel quale è inscritto. In virtú d'un teorema d'Euclide (X, 1), ne risulta che la somma dei segmenti residui, proseguendo la costruzione, può essere resa minore di qualsiasi area data, per esempio della differenza: Segmento $ABC - K$. Si avrà dunque, a partire da un poligono inscritto, avente un numero di lati sufficientemente grande,

$$\text{Segmento } ABC - \text{Poligono inscritto} < \text{Segmento } ABC - K$$

da cui segue:

$$\text{Poligono inscritto} > K.$$

Ma ciò è assurdo, poiché è stato dimostrato (proposizione 21) che il triangolo ABC è uguale a quattro volte (Triangolo ADB + Triangolo BEC), ossia che, in generale, l'area del poligono inscritto è la somma di una progressione geometrica di ragione $1/4$ e di termine iniziale Z:

$$\text{Area del } p\text{-esimo poligono inscritto} = Z + Z/4 + Z/16 + \ldots + Z/4^p$$

in modo che:

$$\text{Area del } p\text{-esimo poligono inscritto} = (4/3)Z(1-(1/4)^p) < (4/3)Z = K.$$

In modo analogo si dimostra che l'ipotesi Segmento $ABC < K$ è contraddittoria.

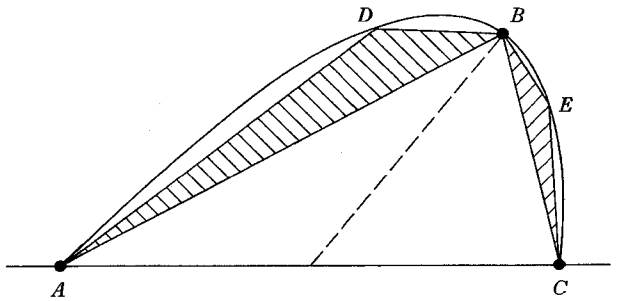


Figura 1.

Illustrazione della proposizione 24 del trattato *Quadratura della parabola* di Archimede.

Una tale dimostrazione è rigorosa nel senso che utilizza esclusivamente proposizioni già dimostrate le quali discendono dagli assiomi e postulati di Euclide; inoltre essa fa intervenire solo oggetti ed operazioni *in numero finito*: mai vi prende parte la nozione di grandezza che «tende verso un limite». Se si dimostra però in questo modo la necessità della proposizione «Segmento $ABC = K$», il ragionamento non è creativo poiché esso suppone che il valore K sia già stato congetturato, senza contribuire in nulla a tale congettura. D'altra parte esso si basa sul principio logico del terzo escluso applicato alla relazione d'uguaglianza per dedurne un ragionamento per assurdo.

Un'altra dimostrazione proposta da Archimede nel *Metodo* costituisce la testimonianza piú esplicita d'una trasformazione dell'idea di rigore, che si presenta dapprima come un inaccettabile cedimento: Archimede conclude infatti l'esposizione dicendo «Ciò dunque non è stato [veramente] dimostrato per mezzo di quel che è stato detto; ma è stata fornita una indicazione che [induce a ritenere che] la conclusione sia vera: perciò noi, vedendo che la conclusione non è stata dimostrata, ma presumendo che essa sia vera, proporremo la dimostrazione per via geometrica da noi stessi trovata, che avevamo già prima pubblicata» (si tratterebbe appunto della proposizione 24 della *Quadratura della parabola*). Cosí si scusa Archimede terminando quella che non considera una vera dimostrazione.

La strategia di questa pseudo-dimostrazione consiste ora nel considerare il segmento di parabola come «composto» (συνέστηκεν) di rette parallele al diametro, aventi un peso proporzionale alla loro lunghezza, e nel metterle in equilibrio con i segmenti di retta che formano una figura triangolare. Il rapporto dei

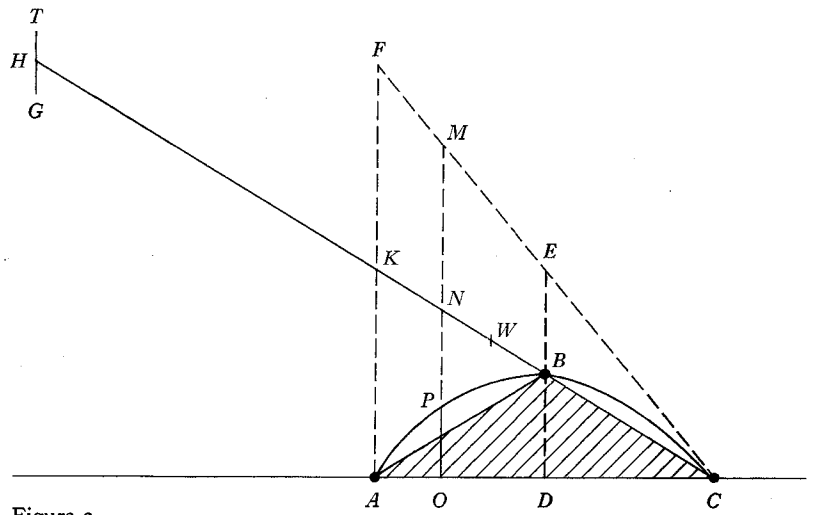


Figura 2.

Schema del procedimento che conduce alla congettura «Segmento $ABC = \frac{4}{3}$ Triangolo ABC».

pesi – dunque delle aree – del segmento di parabola e del triangolo è allora dato come l'inverso di quello dei bracci di una leva alle cui estremità sono «sospese» le due figure.

Sia dato il segmento ABC; sia E il punto in cui la tangente CF incontra l'asse DB e F il punto in cui CF incontra la parallela AF all'asse. Sia CB la retta passante per il vertice B dell'arco di parabola, che interseca in K la retta AF e che si prolunga in H, in modo che $KH = CK$. Sia OP un segmento di retta parallela ad AF e contenuto nella parabola, la quale incontri CF in M e CK in N (fig. 2).

Tenendo presenti le proprietà della parabola, si ha $AC/AO = MO/OP$, e N, K, B sono rispettivamente i punti medi di OM, AF, DE. Dunque: $MO/OP = AC/AO = CK/KN = HK/KN$. Il segmento OP sospeso in H nel suo punto medio (cioè TG nella figura) equilibrerà dunque il segmento MO sospeso nel suo punto medio N, se la leva HC si appoggia sul punto fisso K.

La stessa cosa avverrà per ogni segmento di retta parallelo all'asse e contenuto nel segmento di parabola. Dunque l'area di quest'ultimo, concentrata in H, equilibra l'area del triangolo ACF sospeso nel suo centro di gravità W, situato su KC, tale che $KW = CK/3 = KH/3$. Si ha dunque:

$$\frac{\text{Area del segmento}}{\text{Area del triangolo } ACF} = 1/3.$$

Ora, il triangolo ACF è quadruplo del triangolo ABC poiché B è il punto medio di DE. Dunque:

$$\text{Area segmento di parabola} = 4/3 \text{ area triangolo } ABC.$$

Questa volta la dimostrazione fornisce il valore dell'area. Per questo Archimede la considera strumento d'invenzione. Essa però contravviene alle norme del rigore archimedeo in due punti: 1) fa uso di teoremi di statica, apparentemente estranea alla geometria; 2) introduce implicitamente la considerazione dell'*infinito*, poiché sarebbe contraddittorio ammettere che un numero finito di segmenti di retta riempiano in qualche modo una superficie; vero è che considerare un'*infinità* di segmenti non chiarisce affatto la natura di tale riempimento...

Cavalieri [1635] avrà la stessa idea generalizzando il metodo, senza del resto giungere a una giustificazione rigorosa. Pascal e Leibniz tenteranno di chiarire il paradosso sostituendo alle linee, lungo cui la superficie viene tagliata, dei rettangoli di larghezza «infinitamente piccola»; ma il calcolo cosí impostato sposta semplicemente il problema logico della composizione del continuo in grandezze infinitamente piccole, «eterogenee» rispetto alle grandezze misurabili, valutate nulle se se ne considera solo un numero finito, benché la loro somma infinita possa dare un risultato finito non nullo o anche infinito. Su questa strada, il rigore sarà restaurato solo con la teoria del continuo «non-archimedeo» – peraltro intravista da Leibniz –, che fornisce uno statuto agli «infinitamente piccoli» (come del resto agli «infinitamente grandi»), costruendo una struttura unitaria che li ingloba con i reali finiti in un nuovo sistema di oggetti le cui regole di calcolo sono esattamente precisate. Nel corpo non-archimedeo ***R** dei «reali non-standard», gli elementi finiti costituiscono un sotto-anello M_0; gli infinitesimali formano un sotto-anello M_1 che è un ideale di M_0; l'anello quoziente M_0/M_1 è isomorfo al corpo (archimedeo) dei reali standard. In ***R** gli infinitamente grandi sono gl'inversi degli infinitesimali [cfr. Robinson 1966; e l'articolo «Infinitesimale» in questa stessa *Enciclopedia*].

Cosicché l'ideale di rigore che caratterizza certamente il pensiero matematico si presenta come un orizzonte ogni volta piú lontano anziché come un vincolo fissato una volta per tutte. Non è imbrigliando la propria immaginazione che il matematico tende ad attenervisi; piuttosto egli costruisce nuovi sistemi che dominano gli antichi senza peraltro distruggerli e, dal nuovo punto di vista cosí conquistato, vede dissiparsi il miraggio dei falsi ostacoli, potendo cosí riformulare, secondo le regole, l'oscuro procedimento di cui constatava, senza comprenderla, l'efficacia.

1.4. Evoluzione degli oggetti matematici: il caso dell'integrale.

Mentre resta costante l'orientamento verso la precisione e il rigore caratterizzanti la matematica, l'idea di tale scienza evolve dunque nella misura in cui le forme della precisione e del rigore si complicano e si raffinano. Tuttavia si può affermare che gli oggetti stessi dei quali la scienza si occupa sono in un certo senso sottomessi alla storia.

Ma come – ci si domanda – il cerchio e la parabola di cui tratta Pascal nelle coniche, oppure due secoli e mezzo piú tardi Staudt e Chasles, non sarebbero piú il cerchio e la parabola di Archimede e di Apollonio? Certo, se considerate a livello della loro figurazione mediante immagini sensibili, si tratta ovviamente degli stessi oggetti. Ma in un altro senso, creato appunto dal trattamento matematico di tali figure sensibili, sono oggetti diversi. In questo caso, per esempio, le coniche degli antichi sono essenzialmente definite da proprietà metriche, e benché siano state dapprima scoperte tutte come sezioni di un cono circolare secondo piani differentemente inclinati, il loro profondo legame non è ancora chiarito. Per i geometri del secolo XIX appena citati – e già per Desargues e Pascal –, la definizione proiettiva delle coniche evidenzia le loro diverse figure come le modalità di un essere matematico unico, modalità indiscernibili nel piano proiettivo e che soltanto la scelta d'una retta arbitraria come «retta all'infinito», e quella di una metrica permettono di distinguere.

L'evoluzione della «fauna» matematica consiste infatti sovente nel ridefinire gli stessi oggetti in modo da metterli in una nuova luce. In ciò consiste, forse, l'aspetto piú originale e caratteristico della fecondità di un pensiero astratto, che rivela la profondità delle vedute leibniziane sulla natura dell'oggetto matematico; vi si tornerà tra breve. Per ora ci si propone di mettere in evidenza il senso di tale evoluzione degli oggetti. Ancora un esempio, per quanto possibile esposto a grandi linee. Si tratta della nozione d'integrale, nata dal problema delle quadrature, cioè della valutazione d'un'area (o d'un volume) limitata da un contorno (o da una superficie) noto. Lasciando da parte l'evoluzione del problema

tecnico dell'effettiva determinazione di tale grandezza, già risolto da Archimede nel caso particolare del settore parabolico, la questione che qui interessa è di natura concettuale: come dare un preciso significato alla nozione stessa di area limitata da un contorno qualunque? Le successive risposte date a questa domanda mettono in luce ciò che si conserva e ciò che cambia nella storia di un oggetto matematico. Fino al XIX secolo, il problema non viene posto specificatamente, dato che si considerano soltanto contorni intuitivamente *continui*, per i quali l'area delimitata può essere indefinitamente approssimata suddividendo in rettangoli sufficientemente piccoli, nello spirito di Pascal e di Leibniz, direttamente ispirato ad Archimede.

Il considerare contorni piú complicati, aventi «numerose» discontinuità, fa sorgere l'esigenza di dare una definizione precisa dell'integrale mediante il quale si misura un'area. Ecco che allora la nozione stessa di continuità si presenta a Cauchy e Riemann come il fattore strategico da cui dipenderà la corretta definizione d'integrazione di una funzione. Cauchy formula con precisione una definizione dell'integrale basata sul fatto che, mediante una proprietà di continuità della funzione $f(x)$, il limite d'una somma di rettangoli $\Sigma f(x_n)(x_{n+1}-x_n)$, quando il segmento d'integrazione è diviso in intervalli (x_i, x_{i+1}) il cui limite superiore tende a zero, non dipende dalla suddivisione scelta. Cauchy definisce allora ciò che deve intendersi per continuità della funzione $f(x)$, benché implicitamente utilizzi una proprietà piú forte – d'altronde inseparabile dalla semplice continuità uniforme, che verrà messa in evidenza solo piú tardi. In ogni caso, la nozione d'integrale ha d'ora in poi un senso preciso e la possibilità d'integrare una funzione è riferita alla natura dell'insieme dei suoi punti di discontinuità. Dapprima si pensa che sia possibile caratterizzare nei termini della nascente teoria degli insiemi di punti le condizioni d'integrabilità, e Dirichlet può congetturare che, se l'insieme di discontinuità contiene solo un numero finito di punti d'accumulazione, la funzione è integrabile. Ma Riemann presto fornirà un controesempio... La necessità di dare un senso all'integrale di funzioni ancora piú irregolari, evidenziata dalla teoria degli sviluppi in serie trigonometriche, condurrà a ridefinire la nozione stessa d'integrale.

Riemann la definisce allora considerando il limite della somma ottenuta prendendo i valori della funzione non piú a un estremo degli intervalli di suddivisione, ma in un punto qualunque di tali intervalli. La condizione necessaria e sufficiente affinché tale limite esista, e sia indipendente dal modo di suddividere gl'intervalli oltreché dalla scelta dei punti ove si calcola il valore della funzione, è che «l'oscillazione» sull'intervallo d'integrazione, e cioè la somma

$$\Sigma|x_{i+1}-x_i| \sup_{x,y \in (x_{i+1},x_i)} |f(x)-f(y)|,$$

tenda a zero con il limite superiore di $|x_{i+1}-x_i|$. Si possono cosí integrare, secondo questa nuova definizione, funzioni il cui insieme di discontinuità su un intervallo è ovunque denso. Smith darà invece nel 1875 l'esempio di una funzione il cui insieme dei punti di discontinuità sull'intervallo d'integrazione è ovunque non-denso, o «raro». L'idea originaria, che fa dipendere la condizione d'integrazione dalla struttura topologica dell'insieme di discontinuità, sembra dunque non pertinente, o per lo meno insufficiente. Riemann stesso presenta la propria condizione d'integralità sotto altra forma, che prelude a una concezione totalmente nuova: occorre e basta che sia possibile dividere l'intervallo d'integrazione in intervalli parziali tali che la somma delle lunghezze di quelli in cui l'oscillazione supera un qualunque numero positivo Σ sia arbitrariamente piccola. Ecco dunque apparire un'altra caratterizzazione dell'insieme di discontinuità che si presenterà pertinente: la nozione di *misura* d'un insieme si struttura in una teoria che finirà per condurre ad una nuova definizione d'integrale.

Con Cantor (1883), Peano (1887), Jordan (1892), Borel (1898) ed infine Lebesgue (1902), la nozione di misura si va costruendo per successivi tentativi, rendendo in tal modo possibile una ridefinizione dell'integrazione che rende conto delle anomalie delle definizioni precedenti. L'integrale di Lebesgue è definito secondo due vie d'approccio da lui ben distinte. Da una parte, per mezzo di proprietà formali attribuite a priori all'oggetto da definire. Un integrale sarà un *funzionale*, lineare sull'insieme delle funzioni limitate sull'intervallo d'integrazione e, in un senso ben preciso, continuo su tale insieme. A tale definizione «descrittiva» Lebesgue aggiunge una definizione «costruttiva» che rinnova l'intuizione originaria delle quadrature. Al tradizionale taglio «verticale» dell'area secondo una data ripartizione dell'intervallo d'integrazione, si sostituisce un taglio «orizzontale» secondo una partizione dell'insieme dei valori della funzione, che conduce l'integrazione alla misura dell'insieme dei punti in cui questa funzione ha un dato valore. La condizione d'integrabilità – di cui le condizioni di Riemann appaiono casi particolari – è allora semplicemente che l'insieme dei punti in cui la funzione supera un qualunque numero fissato sia di misura nulla.

L'evoluzione del concetto d'integrale mette in evidenza in modo esemplare i tratti generali che caratterizzano una dialettica interna delle matematiche:

1) L'intuizione originaria s'è andata man mano precisando in un concetto operativo i cui requisiti assiomatici diventano regole del gioco.
2) I risultati da ottenere nel gioco operativo si sono trovati riferiti alla loro condizione radicale grazie alla costruzione d'un nuovo concetto, quello di misura.
3) L'elaborazione del sistema in tal modo fondato conduce ad allargare in maniera imprevista il campo degli oggetti primitivi: per merito della teoria della misura e dell'integrale di Lebesgue nuovi oggetti potranno essere definiti, non piú negli spazi di «punti», ma in spazi funzionali.

1.5. Conclusione.

Si comprende dunque in che senso la matematica possieda una storia, benché, sola tra tutte le scienze, essa conservi integralmente ciò che una volta per tutte ha acquisito. Tale storia è tuttavia fatta d'una successione di rotture e d'innovazioni radicali; l'era del calcolo infinitesimale inizia con un profondo cambiamento di prospettiva sulla definizione delle grandezze mediante serie infinite e l'esplicita determinazione delle proprietà d'un nuovo oggetto: la funzione.

L'analisi e l'algebra della fine del XIX secolo rifondono ed estendono immensamente il loro dominio rompendo il proprio legame privilegiato con l'oggetto numerico. Bisogna tuttavia guardarsi dall'illusione oggi troppo brillantemente diffusa che vorrebbe riconoscere nella storia della scienza una successione di sistemi isolati che si sviluppano secondo paradigmi vincolanti e propri di ciascuna epoca, i quali renderebbero assolutamente intraducibili le precedenti acquisizioni.

Se la matematica evolve a balzi, ciò si deve, senza dubbio, come dice André Weil, al fatto che «il grande matematico abbandona i sentieri battuti» e «mediante accostamenti imprevisti, cui la nostra immaginazione non perviene, egli risolve, cambiando loro aspetto, i problemi da noi ereditati» [1948, ed. 1962 p. 317]. Ma è anche frutto della fatica meno appariscente ma continua di coloro che coltivano senza tregua il terreno da altri indicato. Sembra che esistano due categorie di problemi, o meglio due modi di procedere, in matematica, in corrispondenza a due attitudini che, secondo la metafora militare di Dieudonné [1964], si possono distinguere in attitudini di tattici e di strateghi. Secondo Dieudonné, infatti, i matematici «tattici» si gettano a capofitto su di un problema utilizzando solamente strumenti antichi e sperimentati. Essi si basano sulla propria destrezza per sfruttare in modo nuovo argomentazioni tradizionali ed ottengono cosí soluzioni che erano sfuggite ai precedenti tentativi. Gli «strateghi», d'altro canto, non si sentono appagati fino a che i concetti coinvolti in un problema non sono stati completamente sviscerati, e le mutue connessioni sono messe cosí chiaramente in luce da far apparire la soluzione finale quasi ovvia. Tuttavia, dice ancora Dieudonné, è possibile che ciò richieda lo sviluppo lungo e faticoso di teorie molto generali, apparentemente inutili, che alcuni giudicheranno sproporzionate al problema iniziale.

Il progresso matematico può dunque essere grossolanamente descritto come la scoperta di un paesaggio, visto da diverse angolazioni, da diverse altezze. Ogni prospettiva veramente nuova modifica in qualche modo la visione degli oggetti scoperti in precedenza, mentre nuovi territori s'offrono alla conquista. Ma la confusa proliferazione degli oggetti matematici col passare dei secoli non può mascherare ciò che sempre e dovunque porta il marchio fondamentale e costante del pensiero razionale; ciò viene ancora sottolineato da uno dei migliori matematici creatori del nostro tempo, in grado di cogliere l'ampiezza del panorama: in matematica «le grandi idee sono semplificatrici» [Weil 1948, ed. 1962 p. 318].

2. *La natura degli oggetti matematici.*

2.1. Le idealità matematiche.

La metafora topografica ch'è or ora stata usata sembrerà senza dubbio naturale a molti matematici. Il fatto è che sembra tradurre una profonda convinzione riguardante la *realtà* dell'universo degli oggetti trattati appunto dai matematici, «giungla» da esplorare, «territori» di cui occorre tracciare la carta, e di

cui dapprima s'intuiscono appena estensione e risorse. Colui che tenterà d'avventurarsi, anche solo da profano, tra i testi originali, non potrà non cedere a questo fascino sottile. Gli oggetti matematici resistono all'investigazione, le loro proprietà – che vengono *scoperte* – meravigliano ed incantano, il genio matematico le intravede prima ancora di provarle. Nulla è piú imprevedibile, ad esempio, della proposizione di Goldbach (1742) 'Ogni numero pari è la somma di due numeri primi', congettura a tutt'oggi dimostrata solo per i numeri pari *abbastanza* grandi...

Dal fatto, dunque, che esiste nei matematici un largo consenso realista, si è semplicemente autorizzati a concludere che, *da un punto di vista psicologico*, tutto avviene come se si manipolassero oggetti in qualche modo esterni al pensiero, benché tali oggetti non possano essere recepiti dai sensi come quelli della percezione. Il problema di una filosofia della matematica è appunto quello di caratterizzare, se possibile, questo tipo di realtà che un'ingenua interpretazione metafisica assimila affrettatamente a quella di esseri soprasensibili, indipendenti dagli atti mediante i quali il pensiero arriva a loro.

Senza voler dare un giudizio affrettato sulla loro natura, si può certo dire che gli oggetti matematici, in opposizione ai *fatti*, sono «idealità» [cfr. Desanti 1968] o *essenze*, ossia non sono singoli esseri, individui, e neppure afferrabili come esistenti nel tempo. Husserl, la cui fenomenologia si presenta come una teoria generale dei tipi d'oggetti, a prescindere dal loro impegno entro una realtà e liberi da ciò che li isola come fatti, insiste, nelle *Ideen* [1913], sul ruolo fondamentale dell'immaginazione nel cogliere le essenze, e considera l'esempio particolare delle essenze matematiche: «Il geometra nelle sue indagini opera incomparabilmente piú nella fantasia che nella percezione diretta alla figura o al modello; e in ispecie il geometra "puro", ossia quello che rinunzia alla metodica algebrica. Certo, nella fantasia egli deve affaticarsi per giungere a visioni chiare, mentre il disegno e il modello gli evitano tale fatica. Ma nel disegnare e nel modellare effettivi egli è legato, mentre nella fantasia ha un'incomparabile libertà nella trasformazione arbitraria delle figure immaginate, nel farsi scorrere innanzi possibili figure continuamente modificate e insomma nella produzione di innumerevoli nuove formazioni; una libertà che gli apre l'accesso alle vaste sfere delle possibilità essenziali con i loro infiniti orizzonti» (trad. it. pp. 149-50). Tra tutti i tipi di oggetti possibili, le idealità matematiche formano certamente una classe a parte che è necessario caratterizzare. La soluzione di Husserl consiste nel definirle mediante «una proprietà logica fondamentale». Ciò significa che dare un esiguo numero di forme primitive e l'enunciato di loro proprietà mediante assiomi permette di determinare «pienamente ed univocamente, il complesso di tutte le possibili formazioni del territorio [geometrico]... In una varietà matematicamente definita i concetti "vero" e "conseguenza logico-formale degli assiomi" sono equivalenti» [*ibid.*, p. 154]. Una tale caratterizzazione corrisponde senza dubbio all'ideale di una conoscenza matematica che ha dominato piú o meno esplicitamente il lavoro del matematico da Euclide in poi. Oggi tuttavia si sa che a tale esigenza può far fronte solo una piccolissima parte del dominio esplorato dai matematici. La stessa aritmetica, allorché ci si assumesse il legittimo diritto

di parlare *dell'insieme degli interi*, non sarebbe atta a costituire una «varietà definita» nel senso di Husserl: essa, per non essere contraddittoria, deve contenere proposizioni «vere» né dimostrabili né refutabili a partire dagli assiomi.

Per dare un'idea del problema posto da questa difficile caratterizzazione degli oggetti ideali della matematica, si esaminerà successivamente il loro rapporto col mondo sensibile e poi con le costruzioni di sistemi di simboli.

2.2. Oggetti matematici e immaginazione sensibile.

È già stata citata questa frase di Leibniz: «Fa parte della matematica tutto ciò che può essere immaginato in quanto chiaramente concepito» [1700, ed. 1863 p. 205]. L'immaginazione è qui una funzione di rappresentazione mediante «immagini» sensibili. Gli oggetti matematici sarebbero dunque ciò che il pensiero può distintamente concepire nel mondo sensibile – ossia, per Leibniz, non solo le quantità ma anche la «disposizione delle cose», che dà luogo a una teoria delle combinazioni e a un'*analysis situs*. Vi è scienza matematica nella misura in cui tali astrazioni si conformano necessariamente a leggi governanti i loro rapporti. Secondo tale prospettiva, queste astrazioni vengono colte dal sensibile grazie al pensiero «simbolico»; su quest'argomento si tornerà piú avanti.

Proprio per aver letto Leibniz, Kant definisce le matematiche come scienza che sviluppa le proprietà delle forme a priori della percezione. Ma il mondo sensibile di Leibniz apparteneva di pieno diritto, è vero, al reale, era in un certo qual modo il reale colto da una mente finita, mentre quello di Kant, sebbene totalmente *oggettivo*, non fornisce conoscenza alcuna dell'in-sé. La geometria e l'aritmetica, discipline matematiche fondamentali, sono possibili poiché lo spazio e il tempo, forme pure dell'intuizione sensibile, possiedono a priori proprietà che presiedono ad ogni percezione. «Allorché dalla rappresentazione di un corpo tolgo via ciò che l'intelletto vi mette in fatto di pensiero, e cioè la sostanza, la forza, la divisibilità, ecc., e parimenti ciò che appartiene invece alla sensazione, come la impenetrabilità, la durezza, il colore, ecc., qualcosa mi rimarrà ancora di questa intuizione empirica, cioè l'estensione e la figura. Queste appartengono all'intuizione pura, la quale ha luogo a priori, nell'animo, come una semplice forma della sensibilità, anche senza la presenza di un oggetto dei sensi o di una sensazione» [1781, trad. it. p. 98].

Ne risulta che gli «oggetti» matematici non potrebbero essere, per Kant, degli *oggetti* (fenomeni legati dall'intendimento), ma delle sintesi figurate che l'immaginazione produce nel tempo – forma nel nostro senso interno – e che rendono possibile il nostro apprendimento dei fenomeni. Fondata sulle condizioni formali a priori di ogni intuizione, ogni nozione matematica è uno *schema*, «la rappresentazione del procedimento generale mediante cui l'immaginazione appronta al concetto stesso la sua immagine» [*ibid.*, p. 192]. Il numero è, per esempio, lo schema della quantità. Come per Leibniz, dunque, la matematica non si estende che ai *sensibilia* (lettera a Schultz del 25 novembre 1788). Come nota Vuillemin [1955, p. 47], il disegno di Kant è però *anti-leibniziano*. Egli disconosce totalmente il ruolo della simbolizzazione e considera le proposizioni dell'aritmetica e dell'algebra come sprovviste di generalità, contrariamente a quelle della geometria. La sintesi che ha luogo nella formula «$7+5=12$» «può aver luogo in un solo modo, benché l'uso di questi numeri sia poi generale» [Kant 1781, trad. it. p. 208]. Lo schema del triangolo racchiude invece la possibilità di riprodurre l'infinita varietà delle immagini triangolari. Vi è dunque, per Kant, una sorta di supremazia della geometria in virtú della quale ogni concetto matematico nel suo uso effettivo sarebbe compiuto in una costruzione spaziale.

Il problema che Kant pone non è tanto, del resto, quello della natura dei concetti matematici, quanto quello del loro *funzionamento* nella conoscenza dei fenomeni e del contributo che tale funzionamento reca a un rifiuto dell'idealismo classico. Il tempo, allorché il soggetto prende se stesso come oggetto della propria rappresentazione, dev'essere spazialmente raffigurato come una linea, che non può essere concepita come un *quantum*, salvo che costruendola nel tempo. In una lettera a Rehberg del 25 settembre 1790, Kant sostiene che l'idea del legame necessario del senso interno col senso esterno nella determinazione temporale dell'esistenza, gli sembra dimostrare la realtà oggettiva della rappresentazione delle cose esteriori.

Ne risultano limiti severi della concezione kantiana della matematica, come il rifiuto dei numeri immaginari, aritmeticamente «contraddittori», dei quali Kant non conosce ancora alcuna rappresentazione geometrica e il declassamento del calcolo infinitesimale alla fisica, scienza del movimento. Ciò nondimeno, dandole una forma piú generale ed indipendente dalle formulazioni proprie di un'Estetica trascendentale, non si può rifiutare senza precauzione l'idea di un radicale aggancio delle μαθήματα all'immaginazione sensibile. Certo, sembra difficile proporre una teoria strettamente empirista, che farebbe degli oggetti matematici i prodotti d'una pura e semplice astrazione, ottenuta induttivamente a partire dalle immagini sensibili. Non fu, del resto, in nessun modo, il punto di vista né di Aristotele né di Kant, e lo sviluppo delle matematiche a partire dal XIX secolo è una chiara dimostrazione del fatto che non poteva esserlo. L'insorgere di geometrie non-euclidee s'effettua, sotto molti aspetti, contro la semplice intuizione, e il prodigioso pullulare degli oggetti astratti ed intuitivamente *teratologici* dell'algebra e della topologia manifestamente non si basa, se non dal punto di vista psicologico, sull'intuizione dello spazio.

Tuttavia, sembra che l'elaborazione di oggetti astratti, sempre piú complessi oltreché distinti, inizi dalla costruzione di «modelli» esatti delle rappresentazioni sensibili, per natura fluide; si tratta di modelli multipli che non costituirebbero certo l'esplicitazione univoca dell'*essenza* degli oggetti sensibili. Cosí la formazione dei concetti di continuo, la costruzione del sistema dei numeri «reali», come schemi razionali sostituiti all'idea confusa ed incoerente della retta intuitiva, aprono la possibilità di combinazioni ideali non rappresentabili – come l'insieme «triadico» di Cantor, «compatto» come un intervallo, in un certo senso contenente lo «stesso» numero di punti di un intervallo, eppure ovunque lacunoso, «totalmente discontinuo»... Un'immaginazione operativa prende spunto dall'immaginazione sensibile (che, psicologicamente, continua del resto a sostenerla senza tuttavia mai fornirgli garanzia accettabile). Tale immaginazione fa

leva su simboli, nel funzionamento dei quali gli elementi dell'intuizione sensibile non svolgono piú, di diritto, se non un ruolo di supporto materiale. Conviene ora esaminare il rapporto di quest'immaginazione simbolica con l'essenza degli oggetti matematici.

2.3. Oggetti matematici e immaginazione simbolica.

I filosofi che hanno riconosciuto l'importanza del simbolismo in matematica l'hanno interpretato essenzialmente in due modi, radicalmente diversi. Per gli uni, di cui Leibniz è il piú prestigioso rappresentante, l'uso dei simboli non è un semplice espediente. Costituisce la sola modalità di pensiero che convenga alle idee di cui non si saprebbe portare a termine l'analisi esaustiva o di cui si è incapaci di cogliere, immaginare e manipolare simultaneamente tutti i predicati. «Mi servo mentalmente di questi vocaboli [cioè dei segni]... in luogo delle idee che ne ho, perché ricordo di possedere il senso di essi, e giudico che una spiegazione in quel punto non sia necessaria» [1684*b*, trad. it. p. 97]. È tale «conoscenza cieca» o simbolica è quella usata «in algebra, in geometria, e, si può dire, ovunque». Si tratta certo di un pensiero infermo se lo si paragona all'ideale inaccessibile di un pensiero perfettamente appropriato, che abbraccerebbe con ogni idea la totalità dei suoi predicati e delle sue possibilità. Ma la rinunzia che tale pensiero implica rispetto a una visione intuitiva concreta è il prezzo che una mente finita deve pagare per giungere a una conoscenza chiara e distinta della struttura invariante della realtà. Ogni sostanza, ogni monade sviluppa, dal proprio punto di vista, una visione di tale realtà e i *contenuti* di questa conoscenza sono ovviamente oscuri ed incompleti. Ma il pensiero simbolico libera una *forma* invariante, diversamente espressa nello sviluppo di ogni sostanza, i cui stessi incidenti sono determinati, tra tutti i possibili, dal gioco d'un principio architettonico di ottimizzazione messo in atto da scelte divine. La matematica, che, nella sua piú generale accezione, descrive le forme della realtà comuni a tutte le prospettive individuali, non può dunque presentarsi che come conoscenza simbolica; senz'essere affatto una combinazione arbitraria di segni priva di rapporto con l'esistenza, essa ci procura quello che, nell'esistenza stessa, è sottomesso al principio di non-contraddizione o d'identità ed esaurisce cosí il campo dei *possibili* nel senso piú forte.

Un punto di vista tutto diverso è rappresentato da Berkeley, per il quale le idee astratte sono semplici artifici, attraverso cui bisogna sempre cogliere particolari oggetti. Non sarebbe dunque possibile fondare sulla manipolazione dei segni un vero e proprio pensiero, e la matematica ha valore solo nella misura in cui è possibile, in ogni istante, sostituire degli oggetti sensibili agli pseudo-concetti astratti. I simboli matematici sono essi stessi dei *sensibilia* che rimandano ad altri *sensibilia*: non è dunque possibile conferire loro un potere autonomo. Ecco che gli infinitamente piccoli di Leibniz e le prime ed ultime ragioni di Newton non sono altro che «fantasmi di quantità svanite» [1734, § 37]. Se poi si pensa di poterne dedurre qualche nuova conoscenza, e se dalle loro combinazioni saltano fuori dei risultati intuitivamente verificabili, significa che nelle nostre manipolazioni simboliche controsensi ed errori si sono esattamente compensati... Berkeley tenta con molta ingegnosità di dimostrare che è proprio cosí, prendendo in prestito ragionamenti di Leibniz e Newton. Si può dimostrare che la sua analisi è erronea; ma se anche fosse esatta, resterebbe da giustificare il miracolo di questa rigorosa compensazione e l'onnipresenza del genio buono che senza fallo riporta l'equilibrio entro gli opposti squilibri del pensiero simbolico. Tale tesi della compensazione degli errori per giustificare il successo del calcolo infinitesimale non ha piú corso, ma l'idea che la matematica sia un gioco gratuito di simboli resta la punta estrema d'una filosofia nominalista della conoscenza.

Bisogna necessariamente intendere in tal senso la concezione hilbertiana, ed oggi «bourbakista», delle matematiche? Sembra che il matematico creatore non si preoccupi affatto di reperire la situazione della propria prassi negli universi che i filosofi organizzano. Comunque non si può fare a meno di riconoscere nell'impresa hilbertiana di fondare la matematica su «un sistema completo d'assiomi il piú semplice possibile» una testimonianza del potere riconosciuto al simbolismo. È noto il celebre inizio delle *Grundlagen der Geometrie* [1899]: «Consideriamo tre diversi sistemi di oggetti: chiamiamo *punti* gli oggetti del primo sistema e li indichiamo con A, B, C, ...; chiamiamo *rette* gli oggetti del secondo sistema e li indichiamo con a, b, c, ...; chiamiamo *piani* gli oggetti del terzo sistema e li indichiamo con α, β, γ, ...; i punti si chiamano anche gli *elementi della geometria della retta*, i punti e le rette gli *elementi della geometria piana*, i punti, le rette ed i piani gli *elementi della geometria solida* o *dello spazio*. Noi consideriamo punti, rette e piani in certe relazioni reciproche ed indichiamo queste relazioni con parole come "giacere", "fra", "congruente"; la descrizione esatta e completa, ai fini matematici, di queste relazioni segue dagli *assiomi della geometria*» (trad. it. p. 3). Gli assiomi che seguono esprimono in effetti una sorta di *sintassi* che regge la composizione delle formule corrette per mezzo dei simboli introdotti.

Una tale sintassi è però *produttiva*. La matematica, com'è evidente – ed in maniera esemplare nell'opera di Hilbert – non consiste in tale *grammatica*, ma nell'*uso* che ne fanno alcuni geni inventori. Forse che l'opera letteraria si riduce alla grammatica della lingua nella quale è stata concepita? Che gli oggetti matematici siano essenzialmente di natura simbolica non squalifica maggiormente l'attività creatrice del matematico di quanto non renda sospetta quella del poeta. Del resto, la precisa formulazione delle regole del simbolismo non precede di solito tale attività, ma il piú delle volte la segue, o almeno l'accompagna. Il simbolismo matematico non è una semplice codificazione, come potrebbe parere a chi non ne vede che la fase legislativa: la creazione stessa avviene *entro* un universo di simboli, scaturiti spesso dalla metamorfosi dapprima confusa e a volte contraddittoria di un sistema simbolico anteriormente esistente.

Il matematico crea nuovi oggetti, oppure riconosce proprietà nuove all'interno del sistema che gli è stato trasmesso. Ma *per dar loro diritto di cittadinanza* deve, in generale, riformare il sistema stesso, introdurvi nuovi segni, precisare regole operative divenute troppo vaghe, generalizzarne altre per applicarle a casi precedentemente considerati aberranti o trascurati. Il fatto è che il linguaggio da cui egli parte, con le operazioni che vi si trovano ammesse, esplicitamente o taci-

tamente, comporta sempre delle zone d'ombra. In un dato momento dello sviluppo della matematica, tale *habitus* operativo genera una forma di base intuitiva, una intuizione simbolica, che rimpiazza l'intuizione percettiva: come la lingua naturale non *esprime* tutto quello che questa percepisce, cosí quella non si esplicita completamente nei segni. Assai spesso un avvenimento matematico è la scoperta di un mezzo per esprimere ciò che la pratica operativa richiedeva in modo confuso, un *lemma nascosto*, e il nuovo simbolismo permette una nuova visione e uno sviluppo del pensiero combinatorio ben al di là del problema originario. L'invenzione non si riduce peraltro alla pura e semplice creazione di un linguaggio, come pretenderebbe un nominalismo forsennato. Si tratta dell'invenzione di *concetti*, ma nelle matematiche il concetto assume l'aspetto piú perfetto di oggetto del pensiero munito di struttura, necessariamente rappresentabile in un sistema coerente di segni. Il concetto – il quale costituisce ciò che può veramente essere capito – è caratterizzato dal dualismo del suo sviluppo come operazione e come oggetto. Ogni sistema di simboli rende possibile, a diversi livelli, la comprensione attiva di tale dualità, che è la forma veramente controllabile e progressiva della conoscenza. Lo sviluppo della matematica è quello di un pensiero essenzialmente concettuale, e per questo il simbolismo vi svolge un ruolo decisivo piú che in ogni altra disciplina. Una volta costituito e utilizzato, un sistema di simboli può apparire come lo strumento di esercizi di routine; il ruolo del genio creatore consiste allora nel «sostituire le idee al calcolo», per dirla con Dirichlet, ma le idee sarebbero solo fantasmi se esse non si incarnassero in un nuovo «calcolo». Tale è proprio il senso delle profonde considerazioni di Leibniz sulla natura della *mathesis*. La sua invenzione del calcolo infinitesimale fornisce un esempio da esaminare attentamente per mostrarne la complessità e dedurne tutte le conseguenze. Basti dire che Leibniz parte da manipolazioni algebriche su serie di potenze, e si muove quindi dapprima in un universo simbolico già costituito, di cui è peraltro ben lungi dal conoscere tutte le ricchezze messe in evidenza qualche anno prima da Newton e dai suoi continuatori. La sua immaginazione scopre allora, nella figura del «triangolo» di Pascal il legame che unisce la geometria della curva e della sua tangente con l'algebra delle serie. L'operazione di differenziazione viene in tal modo enucleata e provvista di un simbolismo che permette al geometra di creare una nuova algebra di cui espone per la prima volta pubblicamente le regole nell'articolo *Nova methodus* [1684*a*]. Il merito di Leibniz non si riduce però alla felice introduzione di un comodo simbolismo, poiché essa è conseguenza di una nuova visione, sistematica e globale, degli oggetti e dei problemi, dalla quale tale simbolismo ricava tutti i suoi meriti. In matematica, un simbolismo autenticamente nuovo non è solo un nuovo linguaggio: esso istituisce un nuovo universo.

2.4. Architettura della matematica.

Tali universi successivi della matematica hanno del resto sempre cercato di strutturarsi in sistemi organicamente costruiti. Si può però parlare di una *architettonica* definitiva degli oggetti matematici? Sembra invece che la visione d'insieme che se ne potrebbe trarre si trasformi in ogni epoca. Ad esempio la matematica degli antichi si divide in modo abbastanza netto in aritmetica e geometria. In seno alla geometria si edificherà piú tardi un'algebra – preparata dalle costruzioni euclidee di aree poligonali equivalenti –, poi un'analisi nata dal trattamento delle figure curvilinee e dalla manipolazione algebrica delle serie. La grande rifondazione architettonica delle matematiche rimonta all'inizio del XX secolo quando l'evidenziarsi del concetto di struttura astratta conduce a precisare assiomaticamente un universo di oggetti fondamentali, gli insiemi, a partire dai quali sono costruite un'algebra – teoria generale delle leggi di composizione tra elementi di insiemi – e una topologia; su di esse riposeranno l'analisi e la geometria. Qualunque sia la bellezza di una tale costruzione architettonica, oggi l'accento cade piuttosto sui rapporti imprevisti di mutua fecondazione, intercorrenti negli ultimi decenni fra settori assai lontani dell'edificio. Fin dal tempo di Dirichlet (1863) era noto lo straordinario potere di certe applicazioni dell'analisi alla teoria dei numeri primi. Oggi non solo tale teoria analitica dei numeri si è notevolmente sviluppata, ma si sono anche sviluppate teorie in qualche modo sincretiche quali l'algebra omologica, la topologia differenziale, la geometria algebrica. Come osserva Dieudonné, «è impossibile applicare ad una gran parte della letteratura matematica contemporanea una delle antiche etichette di algebra, analisi e geometria» [in Dieudonné e altri 1978, p. 246]. A maggior ragione, l'architettura grandiosa e limpida, basata sulla distinzione delle «strutture-madri», appare sempre piú come uno schema semplificato. Alla fase classica di costruzione è succeduta una fase barocca, senza mai però arrivare a perdere di vista l'unità profonda delle matematiche, sul cui mistero sempre indagano matematici e filosofi. «Come una grande città, i cui sobborghi crescono sempre, in modo un po' caotico, sui terreni circostanti, mentre il centro viene periodicamente ricostruito, ogni volta con un piano piú chiaro ed in modo piú maestoso, distruggendo i vecchi quartieri ed i loro dedali di vicoli, per lanciare verso la periferia viali sempre piú diretti, piú larghi e piú comodi». La metafora di Bourbaki [1948, ed. 1962 p. 43] curiosamente si avvicina ad una metafora che Wittgenstein usa a proposito del linguaggio [1941-49, trad. it. p. 17]; non c'è da stupirsene poiché in entrambi i casi si tratta di creazioni simboliche, che sono tuttavia «forme di vita».

3. *È necessario dare un fondamento alle matematiche?*

3.1. Leibniz e Kant.

Sia l'indissolubile rapporto della matematica con i propri sistemi espressivi che la sua natura essenzialmente dimostrativa, hanno, fin dalle origini, spinto a una riduzione assiomatica. Una delle ambizioni presenti in ogni momento della storia delle matematiche è senza dubbio stata quella di ricondurre la molteplicità indefinita di una teoria a un numero finito – e piccolo – di principî sui quali fondarla, anche se tale aspirazione si è raramente realizzata. Il matematico è stato però sempre animato da una invincibile fiducia nella validità delle proposizioni

da lui dimostrate e nella solidità globale dell'edificio. Anche nei periodi piú critici di tale storia – quando si scoprí ad esempio l'incommensurabilità della diagonale del quadrato, o il carattere arbitrario del quinto postulato di Euclide, oppure quando si constatò il successo del calcolo degli indivisibili o del calcolo infinitesimale senza poterlo legittimare – i matematici non hanno generalmente mai *dubitato*. Essi hanno sempre attaccato o aggirato il problema come difficoltà matematica, e alla maggior parte di essi è apparso come un lusso o una bizzarria di logici porre in discussione i modi di ragionare e i primi principî. Tuttavia uno spirito filosofico, anche se peraltro matematico, viene preso da vertigini davanti alla prodigiosa ricchezza di tale universo ed è portato a interrogarsi sulla natura stessa di quella indefettibile convinzione nella propria coerenza e solidità che tale universo impone.

Per Leibniz, la riconducibilità delle matematiche al solo principio di non-contraddizione o di identità è una certezza che deriva dalla natura stessa di tale conoscenza. Poiché lo spirito umano è capace di recepire, attraverso la propria percezione sensibile del reale, l'espressione di un concatenamento di proprietà, formalmente identico per ogni possibile universo e sottoposto al solo principio di non-contraddizione, è proprio tale forma che rappresenta il simbolismo matematico. Appunto il carattere finito della nostra intelligenza ci impedisce di pervenire alla fine delle nostre analisi e perciò, non appena si deve trattare l'infinito, si fa uso di principî ausiliari come quello di continuità. Ma la monade divina recepisce le verità del calcolo infinitesimale come direttamente dedotte dal principio unico d'identità che «basta per dimostrare tutta l'aritmetica e tutta la geometria...» [1715, trad. it. p. 391]. Tutta la matematica è dunque, per Leibniz, *analitica* precisamente in quanto può essere fondata, almeno in teoria, sul principio d'identità o di non-contraddizione. Ma la effettiva costruzione leibniziana delle matematiche – da parte di un intelletto finito – è ben lungi dal soddisfare le richieste della logica. La teoria degli infinitesimi può costruirsi, all'epoca di Leibniz, solo in apparente violazione di una logica la quale non è in grado di dare uno statuto a «grandezze» che esistono come termini di un rapporto e al contempo si annullano come membri di una somma o di un prodotto. La soluzione di tale aporia, come si è visto al § 1.3, verrà trovata solo tre secoli piú tardi.

In ogni caso, all'ideale di riduzione puramente logica delle matematiche (che si svilupperà nuovamente nel XIX secolo) viene opposta, fin dalla seconda generazione dei grandi filosofi post-leibniziani, la dottrina kantiana del giudizio sintetico a priori. Si tratta anche in questo caso di dare un fondamento indistruttibile alle matematiche, ma dimostrando come sono possibili. Per Kant una proposizione matematica rende esplicito in termini concettuali ciò che nella nostra intuizione del tempo e dello spazio condiziona a priori l'esperienza che noi abbiamo dei fenomeni. La conoscenza che essa esprime è dunque a priori, poiché è anteriore ad ogni esperienza effettiva, e sintetica in quanto non derivabile logicamente per estrazione di predicati già dati in un soggetto: essa può essere costruita solo da una immaginazione attiva (cfr. § 2.2).

Tali sono le due forme originali alle quali in definitiva si riconducono tutte le successive filosofie che cercheranno di dare un fondamento alle matematiche.

3.2. Frege e il logicismo.

Il periodo moderno del problema dei fondamenti si apre con Frege. Per Frege, la matematica non deve nulla al corso «delle immagini interne, residui di impressioni sensibili», che sono solo «rappresentazioni» accompagnanti eventualmente l'«ideazione» delle proposizioni. «Occorre evidentemente ricordarsi bene di ciò: che una proposizione non cessa di essere vera, allorché io non la penso piú, come il sole non cessa di esistere allorché io chiudo gli occhi» [1884, trad. it. p. 216]. Se la realtà della matematica non si riduce a quella di atti descrivibili da una psicologia empirica, essa non si riduce neanche a un gioco meccanico di segni. Frege critica Boole per avere solamente addobbato la logica astratta con il vestito dei segni algebrici [1883]. Egli vuole invece, sia in logica sia in matematica, dare l'espressione di un contenuto; l'elemento ultimo di tale contenuto è costituito dai concetti e dalle leggi che costituiscono il fondamento logico del pensiero. Fondare la matematica è allora provare «quanto risulti probabile che le leggi aritmetiche siano giudizi analitici e quindi a priori» [1884, trad. it. p. 327]. «Analitico» significa per Frege dipendente solo dalle leggi logiche generali e dalle definizioni, «a priori» significa non fare ricorso ad alcuna proposizione di fatto. La prima proprietà implica ovviamente la seconda. Il logicismo di Frege consiste quindi nel riconoscere il campo di un pensiero logico puro e in seguito nel creare per le nozioni rimaste informulate, ancorché presupposte dal pensiero matematico, un simbolismo specifico, una *Begriffsschrift*, una scrittura dei concetti, la quale permetta la costruzione sempre controllata delle nozioni aritmetiche a torto ritenute indefinibili, a cominciare da quella di numero cardinale.

Per fondare la matematica Frege propone il primo sistema completo di una logica generale esplicitamente simbolizzata e che si basa sulla distinzione radicale fra *oggetto* (*Gegenstand*) e *funzione*. Tale distinzione deriva da due opposizioni la cui coincidenza appare problematica: 1) quella dell'espressione completa o «saturata» (*gesättigt*) e l'espressione «non saturata» e cioè comportante elementi variabili, semplicemente «indicati»; 2) quella del funzionamento di una espressione come *soggetto* e il suo funzionamento come *predicato*. Gli oggetti corrispondono nel simbolismo ad espressioni saturate e funzionano sempre come soggetti; le funzioni sono non-saturate e funzionano d'ordinario come predicati. Un «individuo» è un oggetto, cosí come il «vero» e il «falso»; una funzione pone in corrispondenza oggetti; in particolare un «concetto» fa corrispondere oggetti al vero o al falso; se gli oggetti di partenza sono essi stessi il vero e il falso, o combinazioni di vero e di falso, la funzione è una funzione di verità (quali la negazione, la congiunzione, l'implicazione...) Due funzioni hanno lo stesso «percorso di valori» quando assumono lo stesso valore per gli stessi argomenti; il «percorso di valori» è esso stesso un oggetto, definito per astrazione, che caratterizza una funzione in modo estensionale.

La *Begriffsschrift* permette di rappresentare la logica come un calcolo delle proposizioni (che sono i «nomi» del vero e del falso), permettendo di riconosce-

re il valore di ogni funzione di verità, e un calcolo delle funzioni in generale. L'edificio costruito nei *Grundgesetze der Aritmetik* [1893-1903] permette allora di definire l'«oggetto» fondamentale dell'aritmetica, il numero cardinale, che non è in senso stretto un *oggetto* come lo sono i numeri, ma la proprietà di un «concetto», e cioè la proprietà di una proprietà. Frege definisce anzitutto per astrazione la «equinumerosità» di due concetti mettendo in corrispondenza oggetti che competono a ciascuno di essi ed usando perciò solo la nozione logica di funzione biiettiva. Due concetti hanno allora *uguale numero* se possiedono tale proprietà. In tal modo la teoria dei numeri interi si riduce a uno sviluppo logico delle proprietà del concetto.

Per quanto siano profondamente diverse le idee filosofiche di Russell sulla natura ultima di tali fondamenti logici e dei loro rapporti con l'esperienza sensibile – idee che peraltro si sono notevolmente evolute –, il processo di riduzione che appare nei *Principles of Mathematics* è sostanzialmente quello di Frege. «La matematica pura, – scrive infatti Russell, – è la classe di tutte le proposizioni della forma "p implica q", dove p e q sono proposizioni contenenti una o piú variabili, le stesse nelle due proposizioni, e né p né q contengono alcuna costante eccetto costanti logiche. Costanti logiche sono tutte le nozioni definibili per mezzo di quanto segue: implicazione, la relazione di un termine con una classe cui esso appartiene come elemento, la nozione di *tale che*, la nozione di relazione, e tre nozioni siffatte che possono rientrare nella nozione generale di proposizioni nella forma precedentemente riferita. Oltre a queste, la matematica *adopera* poi una nozione che non entra come costituente nelle proposizioni da essa considerate, e precisamente la nozione di verità» [1903, trad. it. p. 35].

La nozione centrale della costruzione di Russell è allora quella di *classe*, che Frege introduceva di fatto, anche se poteva eliminarla in teoria, come estensione (*Umfang*) di un concetto.

Tuttavia, nel momento stesso in cui prepara la redazione dei *Principles*, Russell incontra l'ostacolo dei *paradossi*, e in particolare costruisce quello che porta il suo nome e il cui schema è semplice. Egli mostra che, rispettando gli assiomi di Frege, si può costruire una classe di classi contraddittoria. Si consideri la classe di tutte le classi che non contengono se stesse come elemento. Se tale classe contiene se stessa, allora contraddice la propria definizione; se tuttavia essa non contiene se stessa, tale classe verifica la definizione e quindi dovrebbe contenere se stessa. Senza ricordare qui la storia istruttiva e complessa dei tentativi fatti da Frege, Russell e i loro successori per uscire da tale *impasse*, basta osservare che «la via d'uscita», secondo l'espressione di Quine [1963], è consistita in restrizioni apportate alle regole di costruzione delle classi a partire dalla proprietà che caratterizza i loro elementi. Tali restrizioni permettono allora di precisare dei sistemi di assiomi che costituiscono una base sufficiente per costruire la matematica classica, evitando peraltro la definizione di insiemi paradossali. Ma l'analisi di Russell della nozione intuitiva di classe non condusse solo a precisare dei vincoli inattesi per la libertà di costruzione delle classi; essa condusse Russell stesso a riconoscere il carattere extralogico di certi assiomi necessari ad una teoria delle classi. In particolare, l'affermazione che è permesso considerare insiemi

non-finiti, e l'affermazione – detta «assioma della scelta» – che, data una famiglia di insiemi arbitrari disgiunti, esiste sempre un insieme, ogni elemento del quale appartiene a uno e uno solo di ognuno di essi. Si sa oggi dimostrare (Gödel, 1940) che tale ultimo assioma è effettivamente compatibile con gli altri, ed anzi ne è indipendente (Cohen, 1963). L'identificazione fatta da Frege del fondamento della matematica con un sistema di procedure e di presupposti logici radicalmente semplici ed intuitivi deve dunque, in ogni caso, essere profondamente rivisto.

3.3. Hilbert e il finitismo.

La costruzione dei concetti matematici a partire da nozioni puramente logiche – e cioè la realizzazione completa dell'ideale leibniziano – incontra quindi alcuni ostacoli. Un'altra linea di approccio è stata indicata da Hilbert il quale, in una prospettiva formalista, introduce assiomi che definiscono implicitamente la nozione di numero a partire dalle nozioni non definibili di «successore», di uguaglianza, di addizione e di zero, termini in linea di principio privi di significato intuitivo e le cui proprietà sintattiche sono ottenute esclusivamente applicando agli assiomi il calcolo delle proposizioni e dei predicati. Peano aveva per primo introdotto tale idea (1889) e posto il problema dell'indipendenza degli assiomi adottati. Proseguita e generalizzata da Hilbert, tale costruzione permette allora di porre il problema dei fondamenti come quello della non-contraddittorietà di tale aritmetica «formale» e quella della sua «completezza»: ogni proposizione vera per una certa interpretazione dei simboli, è dimostrabile o refutabile in tale sistema? (Cosa che ancora si ignora per esempio per l'espressione formale che corrisponde al grande teorema di Fermat). La risposta è stata anticipata dai lavori di Herbrand e di Tarski e completamente chiarita da Gödel. Da un lato l'aritmetica formale non è «completa» nel senso che, se non è contraddittoria, contiene formule vere che non sono né dimostrabili né falsificabili (primo teorema di Gödel, 1931). Inoltre, la formula che esprime nell'aritmetica formale la non-contraddittorietà di questa è a sua volta non-dimostrabile (secondo teorema di Gödel, 1931). Tali risultati esigono due commenti essenziali.

In primo luogo, come sono stabiliti, con quali procedimenti dimostrativi? Per Hilbert, seguito in ciò da Gödel, il ragionamento utilizza le regole della logica e anche dell'aritmetica elementare, purché non vi intervenga l'idea di infinito attuale. L'ideale fondazionale è quindi meno ambizioso di quello logicista, poiché non richiede una ricostruzione in termini strettamente logici dei concetti matematici, ed ammette come strumento metadimostrativo una aritmetica «elementare» finitista. Naturalmente l'esclusione dell'infinito attuale vale solo nei procedimenti *metamatematici* e non impedisce affatto di legittimare la presenza e la manipolazione di insiemi infiniti all'interno della matematica stessa. Tale restrizione al finito nei ragionamenti fondazionali apparve tuttavia ancora insufficiente agli allievi di Brouwer, che rifiutano a livello matematico perfino l'uso del principio del terzo escluso non appena l'insieme degli oggetti a cui si applica non è finito. In tale caso ci si rifiuta di considerare dimostrata la proposizione

esistenziale «$\exists x$, $F(x)$» se si è soltanto dimostrato che «$\forall x$, $\neg F(x)$ è contraddittoria». Brouwer richiede che si costruisca allora effettivamente un oggetto x che possieda tale proprietà. Per rispondere a tale nuova esigenza le matematiche devono essere completamente riformulate. Ad esempio una parte dei teoremi dell'analisi diventano inesatti; si hanno altri teoremi e i teoremi che rimangono sono dimostrati in modo diverso. Si tratta allora di un'altra matematica, corrispondente a una diversa visione dell'infinito. Nello stesso ordine d'idee piú recentemente sono stati compiuti dei tentativi per limitare il ragionamento matematico a procedimenti costruttivi, legati alla nozione di algoritmo di calcolo (Lorenzen, Markov).

In secondo luogo l'impresa metamatematica di Hilbert ha messo in evidenza la distinzione tra riduzione di una teoria matematica a un sistema formale di simboli e l'interpretazione di tale sistema mediante «modelli» ottenuti con la costruzione di oggetti, piú o meno astratti, destinati a soddisfare tale sistema. Naturalmente, i modelli hanno storicamente preceduto nella maggior parte dei casi la struttura astratta enucleata nel sistema formale: i numeri naturali sono stati concepiti e studiati molto prima che fosse esplicitamente formulata l'aritmetica formale. Si pone tuttavia il problema se tale struttura formale determini univocamente un solo modello, od almeno una sola famiglia di modelli isomorfi, tra loro equivalenti in un senso opportuno. Non è il caso, ad esempio, della teoria astratta dei gruppi, che può essere assiomatizzata in modo assolutamente parallelo a quello degli interi; esistono infatti gruppi con un numero finito di elementi (ad esempio l'insieme dei p interi 0, 1, ..., $p-1$ muniti dell'addizione *modulo p*, oppure l'insieme delle rotazioni di $\pi/2$, π, $3\pi/2$, 2π di un quadrato del piano munito della usuale legge di composizione) e gruppi con un numero infinito di elementi (ad esempio l'insieme dei numeri razionali muniti dell'addizione, oppure l'insieme delle rotazioni arbitrarie di un cerchio del piano). Löwenheim e Skolem hanno dimostrato come ogni teoria del calcolo dei predicati che comporti un modello di potenza arbitraria, comporti anche un modello di potenza numerabile. Ne risulta il «paradosso» che una teoria assiomatica degli insiemi, anche se permette, grazie ai propri assiomi, d'introdurre insiemi di potenza superiore al numerabile, deve tuttavia avere un modello numerabile... Ne risulta inoltre, come ha provato Skolem (1934), che l'aritmetica formale ha necessariamente altri modelli, oltre a quello degli interi naturali, detti modelli «non-standard», di cui uno è servito di base alla costruzione di un sistema «non-standard» dei numeri reali, mediante il quale Robinson ha risolto in una prospettiva leibniziana il problema degli infinitesimi (cfr. § 1.3 e l'articolo «Infinitesimale» di questa stessa *Enciclopedia*). Un universo pur cosí primitivo come quello dei numeri naturali non può dunque essere assolutamente dominato da un pensiero che si riduca alle operazioni rette da un formalismo. Questo è l'insegnamento delle ricerche logiche degli ultimi cinquant'anni; esso presenta sotto una nuova luce il rapporto fra le grandi tesi leibniziana e kantiana relative ai fondamenti della matematica.

3.4. Fondamenti e sviluppo della matematica.

La ricerca dei fondamenti di questo immenso edificio sempre in cantiere ha in ogni caso mostrato che i rapporti tra «logica» e «matematica» non sono semplici. Gli «intuizionisti» brouweriani nella loro impresa radicalmente sovversiva sono stati addirittura condotti a un totale rovesciamento del rapporto tradizionale secondo il quale la logica precedeva, in certo modo, la matematica. Secondo Heyting [1934], nessuna scienza, ed in particolare nessuna filosofia, nessuna logica, può essere preliminare alla matematica. Sarebbe un circolo vizioso usare principî filosofici o logici per dimostrare i concetti matematici, poiché essi sono già presupposti nella formulazione di tali principî. L'intuizione viene allora considerata come la sola sorgente legittima per ogni procedimento del pensiero esatto, cioè della matematica «che è un atto, non una teoria». La logica non è allora altro che la fissazione in un simbolismo formale di un sistema di atti del pensiero matematico, mentre la logica classica corrisponde a un sistema valido solo per il trattamento degli insiemi finiti. La logica intuizionista senza terzo escluso si presenta, a dire il vero, come un'altra teoria, cioè un altro linguaggio, derivata però da un sistema di atti che sarebbe adeguato al trattamento di insiemi infiniti, o meglio indeterminati. Non vi è dunque frontiera tra un'*attività* di pensiero logico ed una attività matematica; il termine 'logica' si applica solo a una certa presentazione linguistica della stessa attività.

Indipendentemente dalla tesi intuizionista, è tuttavia possibile proporre, seguendo un suggerimento di Cavaillès, come criterio distintivo tra matematica e logica, la comparsa dell'infinito; non solo in quanto possibilità operativa metateorica, ma come *oggetto* tematizzato nella teoria. Ad esempio, l'algebra di Boole delle classi – isomorfa peraltro al calcolo delle proposizioni – apparterrebbe alla logica in senso stretto, mentre la teoria cantoriana degli insiemi sarebbe già matematica. Si potrebbe, tuttavia, adottare un altro criterio, apparentemente piú vicino alle idee comuni: la matematica inizia laddove diventano necessari, per l'interpretazione dei simboli, modelli i cui oggetti ultimi non sono riducibili alla nozione di *enunciato*. In altre parole la matematica è teoria di un *mondo* e non solamente di un *discorso*. Da tale punto di vista, il calcolo dei predicati parrebbe appartenere allora alla logica, poiché contiene espressioni interpretabili come proposizioni quantificate, o funzioni proposizionali, che sono propriamente parti di un discorso. Tuttavia non ne sono gli elementi ultimi, poiché i modelli che corrispondono al calcolo presuppongono una distinzione tra due tipi di oggetti: gli individui e le proprietà. Una tale teoria descrive dunque già un mondo, anche se molto astratto, e potrebbe essere considerata come la parte piú generale delle matematiche. Del resto, il calcolo dei predicati si distingue essenzialmente dal calcolo puramente logico degli enunciati soltanto sotto l'ipotesi della non-finitezza dell'insieme degli individui. Il secondo criterio in fin dei conti si ricollega dunque al primo.

Tuttavia una metaproprietà fondamentale permette ancora di giustificare il luogo in cui si pone il taglio. Nella gerarchia dei sistemi logico-matematici, è

decidibile unicamente il calcolo degli enunciati; solo per esso esiste una procedura codificata che, in un numero finito di operazioni, permette di riconoscere i teoremi. A mano a mano che ci s'innalza nel grado di complessità della costruzione matematica, si perde dapprima la decidibilità, poi la completezza (il calcolo dei predicati è non-decidibile ma ancora completo), poi la certezza stessa della non-contraddittorietà... Senza dubbio si sanno costruire, per cosí dire artificialmente, delle sottoteorie matematiche che conservano anche la decidibilità. Tuttavia, preso nel suo insieme, il pensiero matematico se ne allontana, e se si vuole dare senza troppa arbitrarietà alla logica un senso stretto, tale criterio, che converge con i precedenti, non pare forse irragionevole.

In tale situazione il problema dei fondamenti della matematica non può essere identificato con una semplice riduzione alla logica. Si comprende allora meglio l'atteggiamento paradossale di Wittgenstein per il quale è priva di senso la questione dei fondamenti. Per lui infatti la matematica è solo un particolare gioco simbolico nel quale la regola determinante è introdurre unicamente concetti «duri» e cioè utilizzare le parole nel modo meno ambiguo possibile. Incontrare una contraddizione in tale gioco vuol dire che le regole utilizzate impediscono di continuare la partita, e quindi vanno modificate. Operazione che egli considera puramente interna alle matematiche, e che non invaliderebbe affatto il gioco precedentemente intrapreso. È senza alcun dubbio difficile seguire fino in fondo Wittgenstein in una visione che spinge alle estreme conseguenze un intuizionismo per il quale l'oggetto matematico si costruisce nel corso di un'attività liberamente regolamentata, i cui effetti si comprendono solo a ogni passo. Si può tuttavia riconoscere, con lui e con molti matematici, che il problema fondazionale non ha un carattere assolutamente radicale, nella misura in cui la comparsa di una contraddizione potrebbe essere risolta per cosí dire *in situ* con una revisione piú o meno locale dei principî.

Si deve rinunziare per le matematiche a una costruzione di tipo puramente «euclideo», chiusura deduttiva di un corpo di proposizioni primitive considerate *vere*? Lakatos [1967, ed. 1978 p. 24], che fa tale affermazione, propone di riformulare il problema come ricerca di una legittimità «quasi empirica» che consisterebbe nello *spiegare* le proposizioni assunte come base per il resto del sistema. Spiegare vuol qui dire costruire, a partire dai principî, «ipotesi audaci» suscettibili di essere invalidate e quindi capaci di servire da «falsificatori» per mettere alla prova le proposizioni di base. Non si tratta, certo, di trasformare la matematica in una scienza della natura, ma di ammettere «onestamente la fallibilità della matematica, cercando di difendere la dignità della conoscenza *fallibile* contro lo scetticismo cinico, piuttosto che illudersi sulle possibilità di rammendare in modo invisibile l'ultimo buco nel tessuto delle nostre "ultime" intuizioni» [Lakatos 1962, ed. 1978 p. 23]. Nulla tuttavia, nella storia delle matematiche, vieta d'interpretare tale fallibilità come dipendente da incidenti concreti di tale sviluppo e non dalla natura stessa della conoscenza. Raggiungere una conoscenza *fondata*, e non solo difesa a passo a passo contro i tentativi di autoconfutazione che scandiscono, secondo Popper, le tappe delle scienze della natura, rimane certamente l'ideale del matematico. Anche se tale fondamento ha senso solo entro

certi limiti che vanno costantemente ridefiniti, la sua ricerca ha costituito e costituirà certamente uno sforzo meraviglioso del pensiero matematico che prende se stesso come oggetto; ma non vi è matematica di secondo livello che sia essenzialmente diversa dalle matematiche. Lo scopo non è tanto di rassicurarci riguardo alla sua legittimità, quanto di comprendere il concatenamento dei suoi concetti e l'organizzazione della sua struttura.

È proprio in tal modo che va visto lo sviluppo delle tappe dell'effettiva fondazione delle teorie nella storia delle matematiche. Il calcolo infinitesimale ne fornisce un classico esempio. Prima di Lagrange tutti i tentativi espliciti di giustificare le procedure del calcolo degli infinitesimi restano al livello di spiegazioni verbali: Eulero «dimostra» per esempio la derivazione di $\log x$ sviluppando in serie

$$\log\frac{x+dx}{x}=\frac{dx}{x}-\frac{dx^2}{2x^2}+\frac{dx^3}{3x^3}-\dots$$

ed affermando semplicemente che i termini al di là del primo svaniscono...

Lagrange (1797) è il primo a proporre una teoria radicale destinata ad eliminare dal ragionamento gli infinitesimi. Egli *postula* che ogni funzione è sviluppabile in serie di potenze, salvo al piú in un numero finito di punti. Egli osserva allora che i coefficienti dello sviluppo – a meno di un fattore numerico – sono le derivate successive del calcolo differenziale che risultano cosí definite algebricamente. In tal modo Lagrange evita, almeno apparentemente, d'introdurre gli infinitesimi e riduce il calcolo infinitesimale a una specie di algebra. Ma ciò a costo di una riduzione draconiana del campo dell'analisi di cui presto ci si accorgerà, poiché le funzioni sviluppabili in serie costituiscono una classe molto particolare di funzioni continue e derivabili. Del resto, per la determinazione esplicita del primo termine dello sviluppo, che è la derivata prima, egli ricorre semplicemente al procedimento dei primi analisti che fanno svanire gli infinitesimi. Il tentativo di fondare algebricamente il calcolo è dunque un parziale scacco, che permetterà però di distinguere e di definire un oggetto privilegiato, la funzione analitica cui Gauss, Cauchy, Riemann e Weierstrass daranno uno statuto definitivo.

L'episodio successivo di tale storia è l'edificazione, da parte di Cauchy e Weierstrass, dopo i tentativi di Bolzano, di una teoria in cui gli infinitesimi riappaiono, ma acquistano uno statuto definitivo, come grandezze «variabili» aventi limite zero, il concetto di limite essendo stato introdotto in modo rigoroso. Il calcolo è ora fondato nel senso che le ipotesi sono chiare ed il campo di applicazione definito in modo esatto. Anche in questo caso la ricerca di un fondamento ha dato origine a nuovi concetti, aperto un mondo nuovo che sarà ben presto quello della topologia insiemistica.

L'ultimo episodio è, come già s'è ricordato (cfr. § 1.3), un ritorno coraggioso al punto di vista originario di Leibniz sui differenziali, trattati dal filosofo come grandezze non-archimedee. L'analisi «non-standard», con la sua ricostruzione del «continuo» fornisce ad essi uno statuto che legittima i metodi un tempo oscuri adottati dagli iniziatori del calcolo. Si può quindi riprendere in tale pro-

spettiva tutta l'analisi, e mettere in evidenza nuove proprietà e nuovi strumenti di dimostrazione. La dissociazione dei concetti e la ramificazione delle teorie, a cui spinge la ricerca dei fondamenti, sono quasi sempre all'origine di un rinnovamento dei concetti e della scoperta di proprietà «profonde», cioè unificatrici e generatrici di effetti precedentemente poco compresi e poco integrati. Si può dunque dire che tale processo di fondazione delle matematiche, in questo senso meno ambizioso di quello dei logici, fa parte integrante del divenire della scienza stessa.

4. *A che cosa servono le matematiche?*

4.1. Premessa.

Fra tutte le forme di conoscenza regolamentata create dagli uomini, la matematica è, senza dubbio, la piú lontanta da ogni mira utilitaria. Si può rilevare che la geometria e l'aritmetica sono state inventate per gli agrimensori egiziani e per gli intendenti ed astrologhi caldei; ciò appare verosimile in quanto usate come tecniche di misura e di calcolo; tuttavia la matematica *incomincia solamente* quando il misuratore e il calcolatore si interessano al funzionamento della loro tecnica e la istituzionalizzano come una specie di gioco le cui due idee direttrici sono l'invenzione e la dimostrazione. Scoprire e costruire proprietà inaspettate di quegli oggetti del pensiero che sono i numeri e le figure, riconoscerne in un modo o in un altro la necessità: ecco ciò ch'è bastato e basta ancora per mobilitare l'interesse appassionato di alcuni uomini – e forse anche di ogni uomo, almeno ogni tanto, se è vero che ad ogni prigioniero della caverna platonica è dato di intravedere qualche volta il riflesso del grande sole. Non si tratta di sottovalutare il ruolo di incitamento svolto dai problemi tecnici, o dalle questioni poste da altre scienze, nello sviluppo della matematica. Tuttavia, nessuno dei *progressi decisivi* che indica la sua storia è l'effetto di uno sforzo fatto per *applicare* la matematica. Per quanto sia diventata indispensabile alle scienze della natura ed alla tecnica coi suoi risultati e con l'esempio del suo metodo, la matematica non ha mai cessato di essere, dopo i Greci, il *gioco* di un puro desiderio conoscitivo e costruttivo per coloro che la fanno avanzare. È raro che il matematico, se lavora per conto di un fisico, ottenga qualche risultato molto profondo. Certamente, lo studio della natura ha potuto costituire, in certi momenti, una sorgente importante di problemi, e potrà tornare ad esserlo. Tuttavia assai piú spesso è al contrario una teoria matematica sviluppata al di fuori di ogni preoccupazione esterna, che è stata riconosciuta dal fisico – e domani, forse, dal biologo, dal sociologo... – come lo strumento straordinariamente adeguato ai suoi bisogni. La filosofia kantiana della matematica, e già quella leibniziana, volevano proprio spiegare tale preadattamento all'esperienza di una conoscenza astratta; è certo impossibile sostenere che tale conoscenza punti a descrivere proprio quell'esperienza o ne sia il frutto diretto. In una prospettiva piú moderna, alla quale peraltro non si potrebbe pervenire senza aver meditato la critica kantiana della

conoscenza e l'idea leibniziana del simbolismo, la matematica sembra risultare il prodotto piú elaborato e meglio controllato dell'attività di rappresentazione simbolica che caratterizza in generale il pensiero. Le teorie matematiche sono allora dei tentativi sempre piú complessi e liberi per *fissare tutti gli ambiti possibili per una rappresentazione degli oggetti*. Le scienze empiriche attingono a tale tesoro indefinitamente arricchito; a seconda del livello in cui si situa il nostro potere di discernimento dei fenomeni, il grado di raffinatezza della nostra sperimentazione e l'estensione del suo campo, questo o quel prodotto della matematica verrà scelto come schema al quale saranno adattati i dati.

Pertanto le matematiche, pur non essendo affatto create in vista delle applicazioni, si trovano ad essere state riconosciute da piú di tre secoli come il sistema indispensabile di simbolizzazione per ogni oggettivazione della natura e forse dei fatti umani.

4.2. Uso e limiti dei modelli matematici.

La ricerca dell'esattezza è una delle componenti che si sono anzitutto riconosciute nello spirito matematico. Pertanto l'applicazione delle matematiche si manifesta principalmente con lo scopo di *precisare* i concetti usati nelle scienze. Come risulta dalla storia della scienza, i concetti usati per descrivere ed eventualmente per spiegare i fenomeni naturali sono derivati sia dalla suddivisione che la nostra percezione e la nostra pratica quotidiana effettuano piú o meno spontaneamente nel vissuto, sia da quanto impongono i miti, i fantasmi adottati collettivamente, le costruzioni implicite che formano i luoghi comuni trasmessi dal linguaggio. Le scienze della natura sono nate dai tentativi per dominare e ordinare tali nozioni fluide e per sostituirvi concetti dai contorni piú precisi. Il contrasto fra i concetti geometrici, dai contorni chiaramente individuati, e le nozioni originarie di «peso», «velocità», «caldo e freddo», «forza», «resistenza» è all'origine della scienza che inizia a formularsi esplicitamente al principio del XVII secolo. Non si tratta affatto di un mutamento accidentale della conoscenza e di una collusione arbitraria del pensiero matematico, già trionfante nel proprio ambito, con una rappresentazione ancora incerta della natura. Senza dubbio si può e si potrà sempre, grazie a Dio, *vivere* le impressioni che riceviamo dai nostri sensi e le immagini prodotte dalla nostra fantasia, in mille modi diversi e personali. Tuttavia una volta scoperta la possibilità di creare *anche* la modalità di rappresentazione esatta fornita dalla matematica, l'ideale rimane per sempre acquisito. Periodicamente stufi ed esacerbati nel vedere come tale metodo esibisce i propri successi senza modestia, alcuni pensatori si ribellano e credono di poterlo considerare solo come una tappa nella storia della conoscenza, evocandone il fallimento prossimo oppure la sostituzione con una «scienza» completamente nuova ed orientata in modo diverso. Nulla nella storia precedente autorizza una tale predizione e la scommessa opposta, che si può fare, sembra molto piú giustificata. La conoscenza scientifica, come si è affermata dopo il ricorso all'esattezza concettuale caratteristica delle matematiche può ormai solo consistere nella costruzione di modelli astratti dei fenomeni vissuti; tali modelli si

presentano necessariamente come sistemi di simboli definiti mediante regole che governano le loro combinazioni. La loro struttura è quella degli oggetti matematici, le relazioni che essa impone sono esplicitate con gli stessi metodi della costruzione e della deduzione matematica. Tuttavia non si deve credere che essa riveli in modo definitivo l'*essenza* di cose dapprima nascoste ai nostri occhi, giacché i progressi piú radicali nelle scienze della natura sono consistiti proprio nell'inventare od applicare nuove strutture. La conoscenza fornita da tali modelli è tuttavia sempre diversa dal prodotto di una immaginazione libera, nel senso che essi sono inseparabili dall'idea di *approssimazione*, essa stessa concettualizzata matematicamente. Quei grandi trionfi della fisica matematica, costituiti all'inizio del secolo dalla relatività generale o, in uno stile completamente diverso, dalla meccanica quantistica, offrono lo spettacolo di una magnifica ristrutturazione di concetti fino ad allora insufficientemente collegati, ricorrendo a una matematica peraltro già pensata senza alcuna idea di applicazioni. Tale incarnazione della matematica pura si accompagna allora con un aggiustamento dei parametri, con una definizione sempre piú esatta del rapporto fra le previsioni e ciò che è osservabile sperimentalmente. L'osservabile è sempre impreciso in quanto tale. La matematica è applicabile poiché permette di delimitare tale imprecisione; azione certo rivedibile di cui essa è solo lo strumento indispensabile ma non il giudice ultimo. La difficoltà di procedere, nelle scienze umane, alla costruzione di modelli astratti, proviene in larga misura dall'ignorare le condizioni di passaggio dalla nozione imprecisa al concetto esatto. Spesso si crede di aggirare tale difficoltà riconducendo la relazione tra impreciso ed esatto ad un problema di *misura*. La misura, però, per avere il proprio ruolo nel processo conoscitivo approssimato, presuppone che il quadro concettuale sia già costruito. Economisti e sociologi possono anche immaginare strumenti di misura assai elaborati, calcolare indici di scarto e di dispersione, spingere molto avanti la ricerca dei decimali; in moltissimi casi è fin troppo evidente che s'intende approssimare solo il *vuoto concettuale*. Il successo della conoscenza approssimata, nelle scienze umane come in quelle naturali, non dipende solo dalla perfezione assoluta o dalla sofisticazione dello strumento matematico; esso è condizionato dall'adeguatezza radicale – anche se sempre relativa – del concetto esatto e del suo *explicandum*, che sola è capace di rendere possibile un processo di approssimazione. Ma tale adeguatezza non è un problema matematico.

Tuttavia, usando un'espressione di Kant, tutto ciò che in natura è conoscibile scientificamente è matematizzabile, cioè, in un senso che non è piú quello del filosofo, suscettibile di una rappresentazione con un modello astratto. Ciò non significa affatto che tutti i concetti costruiti dall'immaginazione simbolica del matematico e che entrano in tali modelli debbano necessariamente corrispondere a qualche aspetto derivabile direttamente dall'esperienza. La matematica introduce, nella descrizione e nell'esplicazione dei fenomeni, concetti che gli Anglosassoni chiamano «teorici», in opposizione ai concetti «sperimentali» che schematizzano direttamente degli osservabili. È chiaro tuttavia che ogni concetto scientifico, in quanto rappresentazione astratta, è di natura «teorica» e si

collega con l'osservazione solo grazie a un processo piú o meno raffinato di approssimazione. A mano a mano però che i modelli si complicano appaiono concetti assolutamente refrattari ad ogni interpretazione empirica. Si consideri, ad esempio, l'uso che gli elettrotecnici fanno della variabile complessa per calcolare gli effetti della corrente alternata. Rappresentando la corrente di frequenza ω con l'esponenziale *immaginario* $I_0 e^{i\omega t}$, la cui componente reale, $I_0 \cos\omega t$, misura l'intensità della corrente osservata all'istante t, appaiono nei calcoli dei circuiti una simmetria simbolica ed una linearità assai semplificatrici. L'intensità I è allora sempre proporzionale alla tensione V e il coefficiente di proporzionalità è un numero complesso, l'impedenza, che dipende da ω. Nei casi semplici in cui la corrente è continua, oppure nel caso ideale di un circuito senza capacità né induttanza, l'impedenza si interpreta come una *resistenza*, numero reale, che misura direttamente una grandezza osservabile. Piú in generale, introducendo concetti teorici, il modello matematico viene sviluppato in uno «spazio» di rappresentazioni piú complicato dello «spazio» delle osservazioni; la «proiezione» del modello in quest'ultimo spazio spiega il fenomeno e fa sparire, con una forma di appiattimento, le variabili teoriche non interpretabili. La concettualizzazione matematica ha quindi il ruolo di uno strumento di razionalizzazione, che collega relazioni – certamente già schematizzate, ma direttamente associate all'osservazione e il cui ordine sfugge – a una struttura postulata, nella costruzione della quale l'immaginazione simbolica si è liberata dai vincoli imposti dalla percezione. I concetti teorici introdotti paiono, del resto, avere due funzioni distinte. Talvolta essi fungono da intermediari provvisori, da legami nel tessuto interstiziale costituito dal modello matematico fra proposizioni direttamente associate all'esperienza: è essenzialmente questo il ruolo della variabile complessa nella rappresentazione delle correnti alternate. Altre volte hanno il ruolo di superconcetti, forme universali di concetti piú specificati, e in ultima analisi di concetti empirici. Tali sono, ad esempio, gli operatori della fisica quantistica, che consentono lo sviluppo di un'algebra e di un'analisi sull'oggetto astratto consistente nella funzione d'onda, le cui tracce empiriche sono costituite dalle misure di posizione e di momento cinetico.

In ogni caso, l'universo matematico del modello ha permesso di sostituire alla nozione di azione causale osservabile di un fatto su un altro, la nozione di codeterminazione in un sistema simbolico, rivelata e sfruttata dalle regole di un calcolo.

4.3. Modelli qualitativi.

Per lungo tempo si è pensato che tale calcolo delle dipendenze potesse farsi solo relativamente a grandezze e che se vi era solo scienza matematizzata, vi era solo scienza del «misurabile». Si sapeva tuttavia, almeno da Leibniz, che i numeri e in generale le grandezze non erano l'unico oggetto matematico. L'applicazione della matematica è però passata quasi sempre attraverso un'introduzione della misura. È solo da poco tempo che nelle scienze naturali e umane si assiste a una riabilitazione delle *forme* opposte alle grandezze e allo stabilirsi del

concetto di *esattezza qualitativa*. Gli oggetti e i ragionamenti della topologia erano stati usati solo in modo occasionale dai fisici; psicologi e sociologi avevano ad un certo momento affermato il proprio interesse per tale strumento concettuale, ma a parole piuttosto che nei fatti, e le teorie «topologiche» di un Kurt Lewin [1935] denotano piú una lodevole intenzione che un uso efficace dei concetti. Paiono piú fruttuose le analisi critiche delle condizioni per la misura dei fenomeni, che risalgono in realtà all'*Essai sur les données immédiates de la conscience* di Bergson (1887), ma sono state riprese con uno spirito piú costruttivo negli anni '60. L'analisi logica dei requisiti cui devono soddisfare i fenomeni osservabili affinché sia possibile attribuire loro coordinate numeriche mette in luce l'interesse di strutturazioni piú deboli di una metrica e porta a sviluppare applicazioni di una matematica dell'ordine e di una topologia combinatoria (teoria dei grafi). Analogamente, lo sviluppo di un'algebra, ormai concepita come teoria generale di operazioni su oggetti arbitrari, permette di considerare algoritmi ed automi astratti usati per rappresentare (parzialmente) fenomeni linguistici. In un'altra direzione è la teoria dei giochi di strategia che, spostando il punto d'impatto dell'idea di probabilità, ne rinnova l'applicazione ai fenomeni. Anche in questo caso, i tentativi di costruzione di modelli per i fatti economici, o piú generalmente per i fatti sociali, hanno spinto a preferire le analisi «topologiche qualitative» ai calcoli di grandezze.

Piú recentemente ancora, e in un senso al tempo stesso piú radicale e piú sottile, la geometria differenziale ha ispirato a un matematico creatore punti di vista completamente nuovi sulla costruzione di modelli applicabili sia ai fenomeni umani sia a quelli naturali. La teoria delle catastrofi di René Thom (per cui si veda anche l'articolo «Catastrofi» in questa stessa *Enciclopedia*) pone al centro il problema della stabilità delle forme globali dei fenomeni, quali appaiono nello spazio-tempo. I modelli classici partono tutti da una forma data e descrivono il funzionamento interno del fenomeno mediante variabili di stato, legate da funzioni essenzialmente continue e anzi analitiche, prendendo come concetti regolatori le nozioni di regime permanente e di equilibrio. I modelli di Thom permettono di considerare sia il funzionamento interno (la «dinamica») di un sistema, sia il condizionamento globale imposto dalla morfologia. Collegare una «geometria» e una «dinamica» è lo scopo di tale concezione che sovrappone allo spazio delle variabili interne uno «spazio di controlli» le cui singolarità reggono i cambiamenti di forma, o catastrofi. La geometria differenziale fornisce allora lo strumento matematico adeguato per lo studio della ripartizione di tali singolarità; Thom ha dimostrato, sotto alcune ipotesi, peraltro abbastanza restrittive, che esse si distribuiscono in un piccolo numero di configurazioni-tipo. La geometria differenziale permetterebbe quindi di descrivere, senza preoccupazioni metriche, la cosiddetta *meta-forma* stabile che governa la realizzazione delle diverse forme assunte da uno stesso fenomeno, forme all'interno delle quali il funzionamento del fenomeno può essere descritto da un modello «dinamico» classico.

L'importanza di tale applicazione della matematica, e il futuro che se ne può prevedere, non paiono legati all'interpretazione ontologica che ne ha qualche

volta dato l'autore stesso; si può certamente rifiutare di considerare le «catastrofi» come figure dell'essere, ovunque riconoscibili, e di vedere nel passaggio da una forma all'altra un aspetto del conflitto eracliteo. L'interesse di tale teoria è dovuto a due caratteristiche essenziali. Anzitutto la teoria delle catastrofi per la prima volta concettualizza e domina l'idea di *consistenza morfologica* dei fenomeni, idea rimasta finora al di qua dell'indagine scientifica, soprattutto per l'incapacità di trattare le discontinuità come aspetti normali della natura. Inoltre essa utilizza in maniera mirabile la strategia fondamentale della costruzione di modelli matematici, consistente nel *coordinare piú livelli di astrazione*. Tale strategia è sempre presente, ma sovente mascherata, nelle scienze naturali ed è senza dubbio una delle condizioni per il futuro successo di una matematizzazione ragionevole dei fatti umani, poiché essa può spiegare, restando esatta, una certa indeterminazione dei fenomeni.

Nessuno dubita che le matematiche siano oggi lo strumento indispensabile per le scienze contemporanee e nessuno, se non in sogno, può immaginare senza di esse il sapere del futuro. Tuttavia, quand'anche un Genio Cattivo modificasse improvvisamente il nostro mondo in modo che le matematiche diventino inutili e inapplicabili, esse continuerebbero a rappresentare nella mente degli uomini una delle forme paradigmatiche di scienza. Forme limite ed ideali dei quali i teoremi di Gödel (§ 3.3) non distruggono affatto il valore né spingono veramente a considerarle conoscenze «semiempiriche»; nonché modello dal rigore irraggiungibile al di fuori del proprio dominio, le matematiche testimoniano la stupefacente potenza creatrice del pensiero formale. Eppure, nel momento stesso in cui se ne ammira il potere, si tocca con mano l'insufficienza di tale forma di pensiero non appena si tratta di regolare, collettivamente o individualmente, il corso della vita. Ma se si deve riconoscere alla matematica questa limitazione, affinché il suo culto non degeneri in idolatria, è tuttavia impensabile che un giorno gli uomini rinunzino a questa passione parzialmente *inutile* cui si dedicherebbero anche soltanto, come diceva Jacobi e ripeteva André Weil, «per l'onore della mente umana» [1948, ed. 1962 p. 320].

Quando Aristotele si lamenta che, per i filosofi (platonici) del suo tempo, «la filosofia [intendi: tutta la scienza] è venuta a identificarsi con le scienze matematiche, quantunque essi dichiarino che tali scienze debbano essere studiate in vista di ben altri fini» [*Metafisica*, I, 992a, 32], egli si difende certamente da un dogmatismo intempestivo e da un imperialismo difficili da arginare. Il fatto è che è ben difficile dare il giusto ruolo alla matematica, una volta che essa ha introdotto i propri metodi e proposto i propri concetti. Essa rimane, per chi ne intravede le prospettive ben articolate ed indefinitamente prolungate, uno dei laboratori piú completi della mente umana e al tempo stesso il museo piú inesauribile della sua immaginazione. [G.-G. G.].

Berkeley, G.
1734 *The Analyst; or, a Discourse addressed to an Infidel Mathematician*, Tonson, London (trad. it. Fondazione Giorgio Ronchi, Firenze 1971).

Bourbaki, N.
1948 *L'architecture des mathématiques*, in F. Le Lionnais (a cura di), *Les grands courants de la pensée mathématique*, Cahiers du Sud, Marseille; nuova ed. Blanchard, Paris 1962, pp. 35-47.

Cavalieri, B.
1635 *De Geometria indivisilibus continuorum noua quadam ratione promota*, Ferroni, Bologna (trad. it. Utet, Torino 1968).

Desanti, J.-T.
1968 *Les idéalités mathématiques*, Seuil, Paris.

Dieudonné, J.
1964 *Recent developments in mathematics*, in «The American Mathematical Monthly», LXXI, 3, pp. 239-48.

Dieudonné, J., e altri
1978 *Abrégé d'histoire des mathématiques (1700-1900)*, Hermann, Tours.

Frege, G.
[1882] *Über den Zweck der Begriffsschrift*, in *Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaft für das Jahr 1882*, Fischer, Jena 1883, pp. 1-10.
1884 *Die Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch-mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl*, Köbner, Breslau (trad. it. in *Logica e aritmetica*, Boringhieri, Torino 1977², pp. 207-349).
1893-1903 *Grundgesetze der Arithmetik. Begriffsschriftlich abgeleitet*, 2 voll., Pohle, Jena (trad. it. parziale *ibid.*, pp. 457-594).

Heyting, A.
1934 *Mathematische Grundlagenforschung, Intuitionismus, Beweistheorie*, in «Ergebnisse der Mathematik», III, 4, pp. 1-73.

Hilbert, D.
1899 *Grundlagen der Geometrie*, Teubner, Leipzig (trad. it. Feltrinelli, Milano 1970).

Husserl, E.
1913 *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie*, Niemayer, Halle (trad. it. Einaudi, Torino 1976).

Kant, I.
1781 *Kritik der reinen Vernunft*, Hartknoch, Riga (trad. it. Utet, Torino 1967).

Lakatos, I.
1962 *Infinite regress and the foundations of mathematics*, in «Aristotelian Society Supplementary Volumes», XXXV, pp. 155-84; ora in *Mathematics, Science and Epistemology. Philosophical Papers*, Cambridge University Press, London 1978.
[1967] *A renaissance of empiricism in the recent philosophy of mathematics?*, in «British Journal of the Philosophy of Science», XXVII (1976), pp. 201-23; ora *ibid.*

Leibniz, G. W.
1684*a* *Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quae nec fractas nec irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus*, in «Acta eruditorum», 3, pp. 467-73 (trad. it. in G. Castelnuovo, *Le origini del calcolo infinitesimale nell'era moderna*, Feltrinelli, Milano 1962, pp. 163-77).
1684*b* *Meditationes de cognitione, veritate et ideis*, in «Acta eruditorum», 11, pp. 537 sgg. (trad. it. in *Saggi filosofici e lettere*, Laterza, Bari 1963, pp. 95-101).
[1700 c.] *De ortu, progressu et natura algebrae, nonnullisque aliorum et propriis circa eam inventis*, in *Mathematische Schriften*, vol. VII, Schmidt, Halle 1863, pp. 203-16.
[1715] Lettera a Clarke della fine di novembre, in *A Collection of Papers, which passed between the late learned Mr. Leibniz and Dr. Clarke in the Years 1715 and 1716, relating to the Principles of Natural Philosophy and Religion*, Knapton, London 1717 (trad. it. in *Saggi filosofici e lettere*, Laterza, Bari 1963, pp. 385-467).

Lewin, K.
1935 *A Dynamic Theory of Personality*, McGraw-Hill, New York (trad. it. Giunti, Firenze 1968²).

Quine, W. van Orman
1963 *Set Theory and its Logic*, Harvard University Press, Cambridge Mass.

Robinson, A.
1961 *Non-standard analysis*, in «Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Proceedings», serie A, n. 64, pp. 432-40.

Russell, B.
1903 *The Principles of Mathematics*, Cambridge University Press, Cambridge (trad. it. Longanesi, Milano 1963).

Vuillemin, J.
1955 *Physique et métaphysique kantiennes*, Presses Universitaires de France, Paris.

Weil, A.
1948 *L'avenir des mathématiques*, in F. Le Lionnais (a cura di), *Les grands courants de la pensée mathématique*, Cahiers du Sud, Marseille; nuova ed. Blanchard, Paris 1962, pp. 307-20.

Wittgenstein, L.
[1941-49] *Philosophische Untersuchungen*, Blackwell, Oxford 1953 (trad. it. Einaudi, Torino 1974).

Che cos'è la matematica se non quel che fanno i matematici? Solo apparentemente questa definizione è circolare: di fatto rimanda alla gamma di discipline (cfr. **disciplina/discipline**) in cui l'antica **scienza** «dei numeri e delle figure» si è articolata. L'intera sua storia, infatti, è segnata da una serie di antitesi (cfr. **opposizione/contraddizione** e anche **coppie filosofiche**) – come **continuo/discreto**, finito/infinito (cfr. **infinito**), esatto/approssimato (cfr. **approssimazione**), **locale/globale** – ed è la incessante **mediazione** tra i termini di tali coppie che fornisce i quadri concettuali entro cui si cerca soluzione ai problemi matematici (cfr. **funzioni, applicazioni, strutture matematiche, trasformazioni naturali / categorie**, ecc.).

È da quest'ottica che si guarderà allora alle scoperte delle proprietà piú nascoste dei numeri (cfr. **numero** e, per questioni piú specifiche, **razionale/algebrico/trascendente** e anche **divisibilità**), allo studio delle forme (cfr. **forma**) mediante concettualizzazioni geometriche (cfr. **geometria e topologia** e, per questioni piú specifiche, **curve e superfici, dualità, invariante, sistemi di riferimento, simmetria**, ecc.), alle progressive estensioni del **calcolo** (cfr. anche **infinitesimale, differenziale**) come anche, poniamo, alla nascita della **combinatoria** (cfr. **labirinto, grafo, rete**), allo sviluppo di una teoria matematica delle **probabilità**, nonché infine, alle stesse vicende della **logica** (cfr. **assioma/postulato, induzione/deduzione, deduzione/prova**; e anche **formalizzazione, ricorsività**). Da una parte aspetti calcolistici (cfr. **algoritmo**) si sono sviluppati in stretta concomitanza col progresso delle macchine calcolatrici (cfr. **macchina** e piú specificamente **analogico/digitale**) e ne è nata una specifica problematica (cfr. **automa, intelligenza artificiale, informazione**) che ha potentemente sviluppato l'efficacia predittiva (cfr. **previsione**) dell'intera impresa scientifica conferendo un nuovo status alla stessa **decisione** razionale (cfr. **giochi, induzione statistica, tattica/strategia, ecc.**); dall'altra, una modellizzazione spesso piú qualitativa che quantitativa (cfr. **qualità/quantità**: è esemplare il percorso dalle questioni di **stabilità/instabilità**, attraverso la nozione di **catastrofi**, alla concettualizzazione dello **sviluppo e morfogenesi**) induce comunque a nuovi interrogativi su temi di fondo.

Metodo

Scrive Descartes nelle *Regulae ad directionem ingenii* [1628]: «Per metodo... intendo delle regole certe e facili, osservando le quali esattamente nessuno darà mai per vero ciò che sia falso, e senza consumare inutilmente alcuno sforzo della mente, ma gradatamente aumentando sempre il sapere, perverrà alla vera cognizione di tutte quelle cose di cui sarà capace» (trad. it. I, p. 26). Questa celebre definizione del metodo si applica, è vero, al cammino della conoscenza e alla ricerca della verità; ma la si potrebbe facilmente riferire a ogni cammino orientato a un certo scopo. Mette in evidenza numerose caratteristiche del metodo che si cercherà ora di illustrare.

1) Un metodo consiste nel seguire delle regole. Ma che cosa significa seguire una regola? Una regola può essere l'indicazione di un'azione da compiere o di un atteggiamento da assumere in una circostanza esplicitamente designata. Non può trattarsi, in questo caso, di una regola nel senso delle regole di un gioco, che delimitano per convenzione il campo dell'azione ma non assicurano in se stesse il successo di quell'azione. Analogamente, che si consideri o no l'uso del linguaggio come una specie di gioco, non si potrebbe dire che seguire le regole della grammatica costituisca un atto metodico. Occorrerebbe ancora che la regola seguita fosse fondamentalmente associata all'idea di una certa efficacia, mentre la regola di un gioco o la regola grammaticale sono associate immediatamente solo all'idea di correttezza.

D'altra parte, seguire la regola di un metodo non vuol dire necessariamente avere formulato prima una massima generale e poi applicarla; ma certamente significa *rappresentarsi* la relazione fra una situazione e uno scopo come un certo invariante per cui si ha una risposta determinata. Probabilmente nessuno direbbe che la risposta stereotipata ai medesimi stimoli è un atto metodico: il carattere di invarianza dell'azione è presente, ma è questa rappresentazione che manca ancora.

2) Il metodo mira a economizzare le forze. È fatto, dice Descartes, di regole «facili», e ci risparmia «inutili sforzi». Si intende che questa economia è del tutto relativa alla sfera nella quale si svolge l'azione. È ovvio che si può cercare qualcosa di completamente diverso dai percorsi piú diretti e dai tempi piú corti. Lo scopo di un'attività talvolta si definisce strettamente, per cosí dire, mediante il suo punto focale; ma piú spesso comporta un alone di determinazioni – o meglio di indeterminazioni – eccentriche. Allo stesso modo, un'espressione denota un oggetto, ma è possibile che connoti un universo di significati nel quale un tale uso si situa. Piú che di economia si potrebbe allora parlare di stabilizzazione dell'azione. Agire con metodo significa essere, in una certa misura, prevenuti contro lo smarrimento totale che situazioni del tutto impreviste potrebbero generare. Il metodo non dà necessariamente i mezzi per farvi fronte adeguatamente, ma offre il punto d'appoggio di una regola.

3) Il metodo preserverebbe dall'errore (non dare mai per vero ciò che è fal-

so) o, piú in generale, dai passi falsi. Ma questo non è chiedere troppo a un metodo? Usualmente ci si ritiene soddisfatti se il metodo appare come una via, sia pure un po' tortuosa, che porti abbastanza vicino allo scopo prefissato. Se poi capita che a posteriori si scoprono nell'itinerario dei meandri o dei giri viziosi, non per questo necessariamente si scarterà il metodo. Anche qui si ritrova quella caratteristica di fondo che si è appena indicata in altra forma: il metodo è essenzialmente *un mezzo per combattere l'aleatorietà* (anche quando, come avviene nell'arte dei giochi, sembra menar colpi alla cieca...) Del resto proprio su questo insiste Descartes nella sua regola IV quando critica coloro che «traggono l'intelligenza per vie ignote, e senza nessuna ragione di speranza, ma soltanto per far prova se ivi si trovi ciò che cercano», e arriva a dichiarare che «è molto meglio non pensar mai alla ricerca della verità di alcuna cosa, che farlo senza metodo» [*ibid.*, p. 25].

4) L'azione metodica è cumulativa ed esaustiva: permette di accrescere progressivamente la scienza se lo scopo è la conoscenza, di ottenere dei risultati parziali se lo scopo è un altro; permette di esplorare completamente il campo che ci si è proposti di esaminare. Ecco dunque un carattere essenziale: pensare o agire metodicamente esige un procedere a tappe, se non a passi, in cui ogni tappa segna un progresso verso lo scopo, nonostante le tortuosità o deviazioni provvisorie. Anche il procedere per «tentativi ed errori» può essere metodo, appunto nella misura in cui si disponga di un criterio che permette di distinguere a ogni tentativo un progresso da un regresso e la direzione nella quale conviene procedere. È d'altronde auspicabile che un'impresa condotta metodicamente non si lasci sfuggire nulla dell'obiettivo perseguito. Occorre in altri termini che sia esaustiva, non già in senso assoluto ma nel quadro che si è proposto. È bene precisare queste differenti caratteristiche con alcune osservazioni sulle due grandi costruzioni di un metodo della conoscenza: quella di Descartes e quella di Leibniz.

Com'è noto, il primo presenta nel *Discours* [1637] i principî del suo metodo come una messa in guardia contro i giudizi precipitosi che ordinariamente si dànno piú che come forme di pensiero che servano da strumenti nella ricerca della verità. Accettare solo l'evidenza, scomporre la difficoltà, andare dal piú semplice al piú complesso, fare delle ricognizioni esaustive; queste sono le quattro regole del *Discours de la méthode*. Esse governano un «ordine dei ragionamenti» che non pregiudica in alcun modo i contenuti della conoscenza. Ma in realtà se le si paragona alle procedure con le quali si tratta un problema matematico mediante la posizione e la soluzione di un sistema di equazioni – procedure che si trovano esposte sistematicamente per la prima volta nella *Géométrie* [1637] di Descartes –, non si può fare a meno di notare che quelle regole sembrano la trasposizione generalizzata di tali procedure. È probabile che, se il filosofo-geometra non le ha tratte dalla sua pratica matematica, quanto meno le ha elaborate nello stesso momento in cui quest'ultima veniva costituendosi. In questo caso dunque il metodo codifica una pratica scientifica che d'altronde risponde in modo molto soddisfacente ai requisiti che si sono or ora discussi. Sembra che si possa dire lo stesso di tutte le grandi costruzioni di metodi scientifici che hanno avuto un ruolo effettivo nella storia della conoscenza. È però legittimo chiedersi

se l'estensione di tali principî di metodo alla conoscenza in generale non presenti aspetti problematici, dal momento che alla loro origine sono legati cosí strettamente alla pratica di una determinata scienza. Già Aristotele aveva negato radicalmente la legittimità di tale passaggio da «un genere in un altro»; riconosceva, è vero, dietro la diversità dei generi dell'essere, dalla quale derivava la diversità delle scienze, un modo di pensiero universale che gli sembrava codificabile nella forma del sillogismo. Ma il ragionamento sillogistico è un metodo? La difficoltà viene dal fatto che non è stata ancora introdotta la distinzione alla quale portano queste osservazioni e che permetterà di caratterizzare meglio il metodo. Che dire d'altronde dei principî cartesiani in quanto regole? Riescono a presentarsi come qualcosa di piú che dei desiderata? Precisano a sufficienza le condizioni della loro applicazione, dànno lo strumento per applicarle? Già Leibniz mosse delle critiche a Descartes a questo proposito: in una lettera a Jean Gallois, del 1682, egli dice che probabilmente le regole del *Discours* sono un po' vaghe, in particolare la prima, che stabilisce come principio che tutto ciò che si concepisce con chiarezza e distinzione è vero, ma non fornisce criteri per riconoscerlo.

Tuttavia ci si può domandare se caratteristica del metodo è proprio di fornire dettagliatamente e in modo ben circostanziato la determinazione di un «criterio da seguire».

Lo stesso Leibniz può sembrare incline a questa concezione del metodo quando insiste sul suo aspetto di «arte d'inventare». Affascinato sin dalla giovane età dalle possibilità offerte da una *combinatoria*, dapprima applicata ai calcoli numerici, poi estesa a ogni sorta di oggetto del pensiero, sogna di istituire dei procedimenti di ragionamento quasi meccanici che conducano infallibilmente alla scoperta di nuovi concetti a partire da elementi dati.

Piú volte, nel corso della sua carriera, afferma che certe sue scoperte matematiche sono frutto di tali procedimenti, ed è ben consapevole che una delle grandi novità da lui introdotte è la formulazione di un *algoritmo* – vale a dire di un modo di impiego dei simboli retto da regole –, per trattare le quadrature e la ricerca delle tangenti.

In realtà, se è vero che la formulazione di regole precise e applicabili in modo quasi meccanico sembra essere l'innovazione decisiva, la lettura degli scritti di Leibniz, sia matematici sia filosofici, mostra che in essa va visto un effetto piú che un contenuto del metodo. Proprio come quello cartesiano, il metodo leibniziano non sembra consistere di indicazioni molto piú generali: riduzione dei dati di un problema e delle relazioni tra simboli alle regole particolari della combinatoria di questi simboli; molteplicità degli approcci a una medesima realtà secondo i diversi modi che la esprimono.

1. *Algoritmo o strategia?*

Conviene effettivamente distinguere due poli del tutto irriducibili dell'idea di metodo. L'uno corrisponde alle nozioni di «ricette», «procedure», «algoritmo» che descrivono dettagliatamente la concatenazione di ciò che deve essere

fatto. L'altro corrisponde al concetto di strategia, che non necessariamente dà una indicazione circostanziata degli atti da compiere ma solo dello spirito nel quale la decisione deve essere presa e dello schema globale nel quale le azioni devono aver luogo. Tuttavia, i due aspetti del metodo hanno un tratto in comune, che consiste nella rappresentazione necessaria delle circostanze e modalità dell'azione di un sistema di simboli. Sembra che non si possa parlare di metodo se non si riescono a formulare in un linguaggio delle regole o delle direttive, benché, come si è osservato all'inizio, un metodo non esiga sempre che queste regole siano esplicitate prima di venir messe in pratica. L'azione metodica, in qualunque senso si intenda, si svolge in un universo simbolico e presuppone un pensiero che, in misura variabile, sorvoli i dati e gli effetti dell'azione immediata. Lo stesso dicasi delle procedure piú strettamente e rigidamente determinate, le quali tuttavia sfuggono al qui e ora, se non nella loro esecuzione – che potrebbe essere affidata alle macchine – quanto meno nella loro concezione. Non si potrebbe considerare l'azione come prodotta con metodo se le circostanze nelle quali si inserisce non vengono percepite dal soggetto agente, al di là della loro presenza immediata, come dei segni, e ogni azione metodica agisce su dei segni.

La riduzione di una concatenazione di azioni a una concatenazione di simboli è anche la caratteristica fondamentale del metodo nel senso secondario di procedura e algoritmo. Questa manifestazione dello spirito metodico non è sfuggita né al Descartes delle *Regulae* – che esalta la raffigurazione spaziale dei problemi e la loro rappresentazione immaginaria – né, naturalmente, a Leibniz – che vorrebbe che la grammatica universale di una lingua non equivoca e perfettamente rappresentativa possa servire come strumento di scoperta. Anche un uomo del XVIII secolo, come l'enciclopedista Condorcet, ha parimenti insistito con forza sull'importanza di quelli che chiama i «metodi tecnici» – tavole statistiche, tavole e sistemi di classificazione. Ma non è possibile ridurre il metodo a questo livello per cosí dire tattico di organizzazione dell'azione e del pensiero. L'aspetto principale sembra proprio essere il metodo come strategia.

Ricorrendo a questa metafora militare si intende qui mettere in luce i punti seguenti:

1) Una veduta globale delle situazioni, nei limiti e in rapporto a un tipo di azione dato, in contrasto con una veduta frammentaria e deliberatamente estemporanea. Per essere metodica, l'azione di certo non presuppone necessariamente una conoscenza effettiva di tutti i dettagli e le circostanze, né la pretesa di prevedere completamente il futuro. Ma esige che la decisione presente sia concepita come inserita in una catena e associata a conseguenze probabili.

2) La capacità di discernere «punti singolari» nel tessuto dell'azione e nel suo contesto. Porzioni particolarmente sensibili dello spazio, del tempo e dell'oggetto, la cui manifestazione è riconosciuta come possibile ed eventualmente attesa, possono dunque produrre una modificazione prevista delle procedure tattiche dell'azione.

3) Una ripartizione delle «forze» mobilitate e piú spesso una concentrazione mobile di queste forze, piú che una distribuzione uniforme. La scelta dei punti

di applicazione dell'azione può anche in certe circostanze essere aleatoria; ma, se vi è del metodo, questo appellarsi al caso è voluto.

4) Infine, la determinazione di un ordine delle azioni. Non che questo ordine sia obbligatoriamente rigido, come capita a livello tattico per l'algoritmo. Ma l'attività metodica presuppone certamente sempre un ordine di priorità.

Una volta individuati questi suoi due aspetti, appare evidente che il metodo può presentarsi solo in gradi e forme che possono variare molto da un campo di applicazione all'altro di un'attività volontaria. Per quanto riguarda le attività conoscitive, sembra proprio che la scienza sia il regno del metodo per eccellenza. Infatti la scienza adotta nei riguardi dell'esperienza vissuta un atteggiamento che esige, e al tempo stesso rende pienamente efficace, un modo di procedere metodico. Sostituisce a questo vissuto oggetti astratti che si suppongono suoi «modelli» o immagini, e né le manipolazioni che essa opera su questi oggetti, né la loro legittimità rappresentativa possono venire giustificati in modo convincente senza una disciplina metodica. In questo caso il metodo riguarda da un lato la determinazione del campo stesso di tale conoscenza, dall'altro l'esplicitazione delle esigenze cui dovrà sottostare l'attività conoscitiva. Quanto al primo punto, va osservato che ogni scienza si è costituita riconoscendo la necessità di abbandonare certi aspetti vissuti dell'esperienza per delimitare il proprio oggetto. Questa norma è chiaramente messa in pratica nelle prime opere matematiche pervenuteci. Apparentemente si è impiegato piú tempo ed è costato piú fatica metterla in vigore nel campo della conoscenza scientifica della natura. E delle anime belle discutono ancora se una riduzione di questo tipo possa portare a un'autentica scienza dei fatti propriamente umani. Quanto al secondo punto, da molto tempo si cerca di descrivere sotto il nome di logica il sistema delle esigenze piú generali cui si conforma il pensiero scientifico. La logica, sia nell'interpretazione che le ha assegnato il compito di definire la coerenza di un discorso, sia in quella che le ha assegnato di riflettere la natura profonda del reale, sembra necessariamente una delle facce del metodo scientifico. Ma se si ammette che questo sistema di esigenze è centrato sulla nozione di concatenamento necessario, conviene metterle in relazione con l'aspetto algoritmico piú che con quello strategico del metodo. Diversamente, il nome 'logica' verrebbe esteso fino a comprendere delle organizzazioni del pensiero le piú disparate e senza un autentico rapporto con quel nucleo che i logici, da Aristotele, Leibniz, Boole, Frege fino ai contemporanei, non hanno mai smesso di ridefinire ed esplorare. Il parlare di una «logica dialettica» deriva proprio da questo malinteso. Le pretese «leggi» dialettiche non hanno affatto lo status delle «leggi» logiche. Si riferiscono a delle strategie conoscitive che, in quanto tali, appartengono piuttosto all'organizzazione di un procedimento metodico nei domini della scienza, ma non potrebbero assumere il carattere vincolante proprio delle seconde. Una logica formula delle procedure di pensiero ben definite e può essere costituita in un corpo di dottrine suscettibile esso stesso di venire esplorato e di divenire oggetto della scienza. In questo senso sembra che non vi possa essere «scienza della dialettica». Vi sono degli aspetti dialettici del metodo scientifico in generale, che si esprimono nell'enunciazione di raccomandazioni euristiche relative agli ostacoli incontrati dalla co-

struzione di sistemi formali (i quali, a loro volta, sono governati dalle esigenze logiche) che servono a formare modelli manipolabili dell'esperienza. Occorre anche dire che ogni metodo scientifico, considerato nella sua totalità, comporta degli aspetti dialettici. Ma la parola 'dialettica' non potrebbe essere impiegata altro che come aggettivo, ed è solo esaminando piú in dettaglio alcuni tipi metodologici del pensiero scientifico che sarà possibile darle dei sensi piú definiti.

2. *Matematica e metodo.*

Nella storia della matematica è ben presto divenuta classica una opposizione fra due specie di procedimenti dimostrativi. Nell'una si dànno delle definizioni e dei principî dai quali si trae come conseguenza ciò che si vuole dimostrare. Nell'altra «il cammino consiste nel partire da ciò che si cerca di dimostrare, come se lo si ammettesse... Perché nell'analisi [è cosí che Pappo chiama questo metodo] si presuppone quello che si cerca come già dato, e si esamina quale ne è il principio, e poi ancora qual è il principio di questo principio, fino a che questo regresso ci porta a qualcosa di già noto o che è un principio ultimo; e questo metodo (ἔφοδος e non μέθοδος) lo chiamiamo *analisi* perché è una soluzione mediante regresso» [Pappo, *Collezione*, VII, 1-2].

Mentre il metodo sintetico finge di procedere alla cieca muovendo da principî miracolosamente ben scelti e di incontrare per una fortunata circostanza la proposizione che si voleva dimostrare, il metodo analitico lavora sull'enunciato del quale si presume la verità necessaria e ne cerca passo passo le condizioni necessarie; se in questa catena di condizioni si trova una proposizione la cui verità è già assicurata o che si voglia ammettere senz'altro, il teorema è stabilito o il problema è risolto. In questo caso si tratta proprio di una strategia, e la stessa parola usata dalla lingua greca – almeno da Archimede in poi – (ἔφοδος) serviva anche a designare un modo d'attacco. Descartes ha codificato per primo tale strategia nella sua teoria delle equazioni algebriche, mantenendo il nome 'analisi'. È sua opinione che proprio questo, da sempre, sia il vero metodo della scoperta, gelosamente custodito dagli antichi come un segreto, mentre la sintesi non sarebbe altro che un metodo di esposizione, che convince per la necessità delle sue concatenazioni, ma non illumina su quello che Pascal chiamerà la «ragione degli effetti». Tuttavia la progressione per cosí dire centrifuga che va dai principî alle conseguenze non ha mai smesso di aver diritto di cittadinanza nella matematica. Il metodo assiomatico, sistematicamente rivalutato all'inizio di questo secolo, appare ancor oggi rispondere a quell'esigenza di dimostrazione che richiede che siano messe in luce le condizioni non solo sufficienti ma anche necessarie delle verità presentate dal matematico. Il fatto è che il metodo, in matematica, si sottomette presto o tardi a un'esigenza di rigore e che lo spirito del procedimento sintetico è il garante del rigore.

Che cos'è dunque il rigore della matematica? Si sa che Archimede risolveva nel suo *Metodo* certi problemi di quadratura equilibrando tutte le rette parallele tracciate nel segmento da quadrare con le rette corrispondenti tracciate in un

triangolo; dal rapporto dei bracci della leva traeva il rapporto delle aree del segmento e del triangolo. Ma tale dimostrazione non lo soddisfa affatto, perché non osa postulare in via di principio che un'area possa venire scomposta in segmenti di rette... La dimostrazione rigorosa che dà in altri scritti consisterà dunque nello scomporre quest'area in parti e nel mostrare che, moltiplicandole indefinitamente e rendendole sempre piú piccole, la differenza tra la loro somma e la frazione dell'area triangolare scoperta con il suo primo metodo non può, alla fine, che essere nulla. Archimede dunque si basa soltanto su proprietà riconosciute delle figure e delle aree e sull'assioma che porta il suo nome, benché risalga a Eudosso, il quale dice che una grandezza, per quanto piccola, può sempre superare qualunque grandezza data se si somma a se stessa un numero *finito* di volte. Il rigore consiste qui nell'attenersi ai principî stabiliti; in questo caso si paga, è vero, il prezzo di essere costretti, per scoprire il valore dell'area da quadrare, a ricorrere al fiuto o a un altro metodo: il procedimento di dimostrazione rigorosa non può far altro che dimostrare la necessità di questo valore, una volta che lo si sia trovato. I fondatori del calcolo infinitesimale nel XVII secolo rinunzieranno al rigore in favore di procedimenti efficaci e generali di quadratura i quali, come il *Metodo* meccanico di Archimede, permetteranno di trovare il valore delle aree limitate dalle curve date. Ma l'Archimede della *Quadratura della parabola* e del trattato *Della sfera* era destinato a rimanere per molto tempo il modello del rigore. Bisogna tuttavia osservare che questo rigore in matematica è sempre relativo. Man mano che i concetti matematici si sviluppano, ciò che prima sembrava evidente e semplice si trova dissociato, lo stesso movimento di costruzione degli oggetti matematici conduce a immaginare dei «mostri» ai quali non si può opporre alcun divieto logico e la cui esistenza rivela che i concetti primitivi erano stati presi troppo globalmente e semplificati indebitamente. Le dimostrazioni precedenti devono dunque essere riprese e rifondate per tener conto delle nuove possibilità che l'intuizione e la pratica si lasciano sfuggire. La strategia di assiomatizzazione consiste appunto nel chiarire nel modo piú limpido e meno equivoco possibile lo stato dei concetti e delle proposizioni primitive. È certo che l'oggetto della matematica rende possibile il successo di tale modo di procedere ma non garantisce affatto che conduca a un definitivo punto d'arresto. Bisogna dire con Pascal che «gli uomini si trovano in un'impotenza naturale e immutabile a trattare qualunque scienza in un ordine assolutamente compiuto» [1656, ed. 1963 p. 350], ma vedendovi piú che una debolezza la testimonianza di un'apertura indefinita e di un rinnovamento senza fine. Ogni teoria matematica che non è erronea è rigorosa al suo livello e secondo i principî che implicitamente o esplicitamente si propone. Ma il suo stesso sviluppo renderà caduco questo rigore e porterà a una sua revisione.

In ogni caso ci si ingannerebbe sulla natura della matematica se si scorgesse nel suo progresso soltanto una ricerca indefinitamente differita del rigore. Il metodo in matematica ha per oggetto la soluzione di problemi. Ma sembra necessario distinguere due tipi di problemi, dal punto di vista dell'applicazione del metodo.

Esistono infatti dei problemi che si potrebbero dire di routine, anche se la

loro soluzione esige una grande ingegnosità. Problemi come questi si trovano posti senza ambiguità nei termini stessi di una teoria già costituita, e ci si accorge a posteriori che tutti gli elementi della loro soluzione erano già presenti nella teoria, che la strategia efficace aveva già dei modelli nelle pratiche precedenti, e bastava imitarli. Fu cosí che Descartes, possedendo già le idee che istituiscono la sua geometria analitica, risolve nella *Dioptrique* [1637] il problema di trovare l'equazione della superficie di separazione di due mezzi diversamente rifrangenti, tale che i raggi provenienti da uno di essi convergano in un punto dell'altro dopo la rifrazione; o che Eulero, usando i concetti leibniziani, risolse diverse equazioni differenziali.

Diverso è invece quando per esempio Leibniz, proponendosi di trovare l'area delimitata da una curva qualunque, osserva che questo problema è uguale al problema «inverso delle tangenti», e introduce per caratterizzare le tangenti il quoziente differenziale. Questa volta è stato inventato uno strumento nuovo; non si tratta piú di applicare abilmente una strategia già collaudata, ma di costituire una nuova strategia (certo ispirata e preparata da un lavoro collettivo secolare, ma che prende forma per un colpo di genio). Il metodo, in questo caso, non funziona piú a livello del problema stesso il quale, ad eccezione di casi particolari, resiste alle procedure fino allora note ma lo domina dall'alto in modo tale che la soluzione trovata apra un nuovo campo di oggetti matematici e generi in futuro una gran quantità di metodi piú specifici, di procedure, di algoritmi. Leibniz stesso ha paragonato il suo metodo d'invenzione alla messa in opera di precetti generali: ragionare su dei simboli convenientemente scelti, e cercarne tutte le combinazioni possibili. Si potrebbero forse mettere in luce altri tratti del suo metodo; ma in ogni caso si situa a livello di una strategia molto generale e radicalmente innovatrice. Tali invenzioni portano naturalmente l'impronta di un individuo; si possono descrivere da questo punto di vista, rilevando gli effetti di uno stile. È cosí che due innovazioni metodologiche stilisticamente tanto differenti e originali come il calcolo infinitesimale leibniziano e il calcolo delle flussioni di Newton portano a costruire gli stessi oggetti. Ciò nondimeno, considerando il movimento delle innovazioni matematiche attraverso i secoli, è possibile riconoscere dei tratti metodologici costanti, che caratterizzano in modo abbastanza generale le strategie d'invenzione, e in questo si manifesta tutto ciò che è legittimo qualificare come «dialettica» nel metodo. Li si indicherà in un caso storico scelto tra molti altri.

I matematici, da quando si sono posti il problema della «quadratura del cerchio», si sono scontrati con l'impossibilità di rappresentare mediante frazione rapporti fra grandezze come quello fra la circonferenza e il suo diametro.

1) Alla fine del XVII secolo, Wallis, Leibniz e altri mostrano che certe serie o prodotti di un numero infinito di termini si avvicinano indefinitamente, tanto quanto si vuole, a quei valori. L'ostacolo è dunque superato a condizione di ammettere che tali procedure infinite definiscono una nuova specie di numeri, ed è proprio questo che Leibniz riconosce esplicitamente battezzandoli, secondo un suggerimento di Eulero, numeri «trascendenti». Fino allora il numero era concepito come un oggetto; si ammette ormai implicitamente che un procedimento

operatorio può essere trattato come un oggetto. Con il calcolo infinitesimale la somma di serie infinite è generalizzata mediante l'operazione d'integrazione, fonte inesauribile di produzione di nuovi numeri.

2) Ma si dovrà attendere la fine del XIX secolo perché siano sistematizzate le proprietà di quegli oggetti presi nel loro insieme, perché si dia loro uno status, perché si definiscano con tutta la precisione e la coerenza desiderabile le operazioni algebriche che non si esitava ad applicare loro e perché si mostri che in un certo senso la loro totalità è chiusa: non solo ogni successione convergente di numeri razionali definisce un oggetto del genere, e non solo qualunque di essi può venire definito mediante una successione convergente di numeri razionali, ma, ancora, ogni successione convergente di quei medesimi oggetti definisce un oggetto che appartiene alla stessa famiglia. L'opera di Dedekind e Cantor porta a compimento, con mezzi diversi e secondo stili differenti, questa oggettivazione decisiva dei numeri «reali».

3) È allora, ovviamente, che viene esplicitamente riconosciuto che i vecchi oggetti costituiscono una sottofamiglia particolare dei nuovi oggetti o, piú esattamente, sono identificati con una sottofamiglia particolare dei reali, che ne possiede formalmente tutte le proprietà.

Questa è una delle strategie piú generali del pensiero matematico, e sembra illustrare bene in cosa consiste il metodo in questo caso.

3. *Metodo sperimentale, metodo clinico.*

Ma che dire del metodo nei domini della conoscenza scientifica in cui la determinazione degli oggetti dipende essenzialmente dall'esperienza? Si intendono con ciò gli oggetti che non possono essere concepiti indipendentemente da una percezione *vissuta* di ciò che si chiama la natura, le azioni e le opere degli uomini, compresi noi stessi. L'idea che ci si fa dunque di una conoscenza scientifica costituisce già un orientamento di metodo, poiché la storia delle culture umane mostra che esistono molteplici modi di sistematizzare e interpretare questa esperienza. Una tendenza radicalmente negativa, che si è fatta strada in quest'ultimo quarto del XX secolo, consiste precisamente nel valorizzare la molteplicità dei metodi e nel mettere su uno stesso piano il mito, la scienza, le ideologie. Di fatto si tratta soprattutto di una rivolta contro un certo imperialismo del metodo scientifico, rivolta che ricompare periodicamente nel corso della storia del mondo prendendo forme differenti nelle differenti epoche – misticismo, agnosticismo, pragmatismo –, secondo lo stato delle società e il ruolo svolto in esse dal pensiero scientifico. Tale critica radicale del metodo scientifico si pensa non possa indirizzarsi altro che contro una «ideologia della scienza» che, con il pretesto di farne il valore supremo, ne traspone le contraffazioni in tutti i domini dell'attività umana. Può darsi che questo pericolo sia insito non nella scienza, ma nella struttura delle società industriali e nell'etica della produttività che emana da esse e sulla quale si basano, etica di cui la scienza è palesemente lo strumento privilegiato. Non ci si soffermerà su questo; qui interessa solo sapere per quali ca-

ratteri si distingue quella strategia di approccio all'esperienza che dall'inizio del XVII secolo si qualifica come scientifica. Quello che sembra fondamentale e che domina ogni metodo è la riduzione dei fenomeni che la percezione già isola nell'esperienza vissuta a degli schemi astratti.

Questa riduzione consiste sempre nello stabilire un quadro piú o meno rigido nel quale si possano annotare sistematicamente le informazioni complesse globali e talvolta confuse dell'esperienza. Il primo passo del metodo consiste nel rassegnarsi a non descrivere tutto, a non ritenere tutto e a scegliere degli aspetti sufficientemente chiari e distinti per dissociarli senza equivoco e trasmetterne il tenore mediante il linguaggio o un simbolismo creato *ad hoc*. Nel campo dei fenomeni non umani, la presa di coscienza della necessità di questa ascesi ha richiesto un lungo apprendimento collettivo prima che nascesse una scienza del movimento che, prima fra tutte, sarà ben presto riconosciuta come tale al punto che i suoi enunciati, nei limiti tracciati dal quadro in cui sono formulati, sono verificabili e possono servire da punti di partenza per nuove conoscenze dotate dello stesso carattere. Questa strategia di riduzione, cosí lunga e faticosa da acquisire, determina deliberatamente l'oggetto della scienza in questo campo come un fatto, di cui è bene sottolineare e precisare il carattere straordinariamente astratto se si vuole comprendere a fondo in cosa impegna il metodo. Il fatto trattato dalla scienza è qui un fatto generico; le sue circostanze non sono datate, e gli elementi che vi entrano non sono individuati. Si allontana, per cosí dire, di due gradi dall'evento realmente vissuto, che non solo è datato ma è anche in rapporto con il soggetto dell'esperienza, con un «io». Uno status intermedio è quello dell'evento «referenziato», localizzato e datato in un sistema di riferimento, ma indipendente da qualunque «io» enunciatore. Ma non sono neanche questi enunciati che costituiscono il fondamento delle conoscenze scientifiche. Se il fatto generico comporta una variabile di localizzazione spazio-temporale, questo avviene a titolo di localizzazione potenziale, e lo schema generale di una legge nelle scienze del fenomeno non umano si può scrivere: $(u)R(x,y,\ldots,u)$ o anche $\exists u\, R(x,y,\ldots,u)$, dove u rappresenta la variabile *muta* di localizzazione.

Una seconda caratteristica fondamentale del metodo consiste dunque nella formulazione di ipotesi. Alcune riguardano la natura stessa del quadro nel quale la descrizione dei fatti deve aver luogo e attribuiscono per esempio una certa presunta struttura matematica agli elementi astratti che rappresentano ciò che nell'esperienza si è scelto di osservare o misurare. Si postulerà che le «velocità» si combinano come gli elementi di uno spazio vettoriale, che le «masse» sono dei numeri invarianti, pronti a riformulare l'ipotesi e a ricostruire l'insieme del sistema se questo si rivela inutilizzabile come quadro coerente per esperienze piú fini o per nuovi fenomeni. Benché la psicologia dello scienziato, che in generale è profondamente realista, lo renda incline a trattare queste ipotesi come dati, una delle strategie piú feconde del metodo si presenta come decisione deliberata di rottura, sempre dolorosa e spesso per molto tempo rifiutata dalla comunità scientifica. Viste dall'esterno, come fenomeni sociologici, tali trasformazioni si può dire rivestano un aspetto spesso paragonabile a quello dei cambiamenti della moda; scandalo, infatuazioni, reazioni e consenso. Ma il consenso, si intende,

è sempre il risultato di successi palesi nella descrizione, spiegazione, previsione e gli atteggiamenti collettivi hanno qui un mero ruolo di sintomi, tutt'al piú di circostanze favorevoli o sfavorevoli allo sviluppo piú o meno rapido della strategia.

A un livello meno profondo, l'ipotesi si presenta come l'enunciazione di una relazione tra fatti generici. Stuart Mill pensò di poter codificare il metodo a questo livello quando formulò i suoi «canoni». In verità si propone di enunciare delle regole per mettere in evidenza una relazione che considera fondamentale, la relazione di causa a effetto. Ma di fatto le sue regole si potrebbero considerare piuttosto come regole che stabiliscono una definizione operativa di quello che si chiamerà «causa» di un fenomeno, purché ci si renda conto che questa stessa nozione di causalità all'inizio non è per nulla chiara, e corrisponde solo a una idea intuitiva, vaga, a meno che non sia stata oggetto di un'analisi filosofica e di decisioni metafisiche per stabilire il senso che le si vuol dare. L'esame dei primi tre canoni di Stuart Mill mostra che essi, in fin dei conti, non fanno che esplicitare una relazione fra l'enunciazione dei due fenomeni che altro non è che la *relazione logica* di implicazione materiale. È noto che «se p allora q» significa che delle quattro combinazioni possibili di verità e falsità riguardanti i due enunciati simultanei p e q solo la combinazione «p vero, q falso» è esclusa. I primi quattro canoni non fanno altro che presentare diverse realizzazioni dei due fenomeni, o circostanze di un fenomeno, conformi allo schema dell'implicazione. Il primo canone per esempio evidenzia la situazione «p vero, q vero» in opposizione alla situazione «p vero, q' falso»: «Se due o piú casi di un fenomeno studiato hanno una sola circostanza in comune, questa unica circostanza nella quale concordano è la causa o l'effetto del fenomeno». Sia p il fenomeno in questione, q la circostanza sempre presente. La situazione descritta è «p vero, q vero» e «p vero, q' falso». Il primo aspetto è compatibile con «$p \Rightarrow q$» (o con «$q \Rightarrow p$»); il secondo è incompatibile con «$p \Rightarrow q'$», dove q' rappresenta le altre circostanze; si osserverà tuttavia che non è incompatibile con «$q' \Rightarrow p$», dissimmetria che Stuart Mill non ha osservato. Il quarto canone, o «metodo dei residui», si può interpretare nello stesso modo, a patto di aggiungere delle condizioni che l'autore non ha esplicitato. Si tratta dunque di quattro precetti che traducono direttamente un algoritmo formale, del quale si forniscono, per cosí dire, delle condizioni tattiche di applicazione. Va osservato che tale manovra acquista senso solo nella misura in cui i fenomeni sono effettivamente considerati come generici, e non come singolari: è infatti evidente che quello che si cerca non può essere l'implicazione di una proposizione singolare da parte di una proposizione singolare; questo carattere generico del resto non deve essere stabilito in questo caso da una enumerazione esaustiva, è semplicemente messo in evidenza dalla considerazione di «due o piú casi» sufficienti per invocarlo.

Ma esistono appunto delle situazioni sperimentali in cui la disparità di questi casi singolari (che, soli, naturalmente costituiscono il materiale d'esperienza) rende impossibile la determinazione immediata del fatto generico sul quale le ipotesi verteranno. È in questo caso che la strategia di riduzione all'astratto che caratterizza il metodo è portata all'estremo. Lo statistico infatti non solo rinun-

zia a parlare del fatto come di un evento singolare, ma rinunzia anche a parlarne come di un evento generico. Quello che per lui conta come fatto è la realizzazione di una qualunque delle molteplici figure assunte da un certo fatto generico: uno dei numeri che misurano la dimensione variabile di un oggetto, uno degli stati di deterioramento di un organismo colpito da una certa malattia, una delle forme tra quelle sotto cui si presenta un certo essere vivente... In questa prospettiva, l'enunciazione e la verificazione di una ipotesi esige che il quadro di descrizione del fenomeno permetta un censimento esaustivo di *questi* casi il cui agglomerato costituisce il fatto scientifico. Il metodo consiste allora nell'attribuire a questi casi dei coefficienti di realizzazione empirica, e l'idea guida è che questi coefficienti, che sono dei numeri, possono essere manipolati in un universo astratto di rappresentazione come se fossero quei puri oggetti matematici definiti con il nome di «probabilità» mediante le regole esatte di un calcolo. Tutte le tattiche dello statistico avranno per scopo di assegnare al fenomeno trattato un sistema di coefficienti – in quanto valori di probabilità – coerente e costruito a partire da alcune enumerazioni finite date dall'esperienza nel quadro di descrizione dei casi scelti. Una legge si esprime dunque mediante l'attribuzione di un coefficiente di realizzazione a un caso, derivandolo dal sistema fondamentale per mezzo del calcolo delle probabilità. Cosa significa allora la verificazione? Conviene forse sottolineare bene questa evidenza paradossale: che l'osservazione della realizzazione di un qualunque fatto generico è perfettamente compatibile con qualunque coefficiente assegnato a quel caso da una legge statistica. Peggio ancora: a rigore questo coefficiente è compatibile anche con l'osservazione di qualsiasi frequenza osservata di quel caso. La cosiddetta legge dei grandi numeri mostra solo che, se si assimilano questi coefficienti a delle probabilità matematiche, la probabilità delle situazioni o la frequenza del caso considerato sarebbe uguale al coefficiente che gli assegna la legge e tende all'unità man mano che aumenta il numero delle situazioni sperimentate. Ma questa probabilità di una frequenza si verifica essa stessa solo sotto forma di frequenze fluttuanti... La strategia di verificazione di una legge statistica deve dunque consistere nel determinare delle situazioni tali che lo scarto calcolato tra la frequenza relativa delle «buone situazioni» e l'unità sia molto piccolo, tanto che la comparsa di un piccolo numero di «situazioni cattive» possa essere ragionevolmente considerata come una confutazione dell'ipotesi. Tutti i testi statistici si fondano su questo schema di manovra interpretato in modi differenti e decidono a priori i margini di scarto giudicati accettabili corrispondenti a probabilità alquanto deboli di una ipotesi erronea. Ancor piú che in ogni altro aspetto del metodo sperimentale, si vede qui in che misura la sua validità dipende da una definizione precisa e operatoria del fatto, del caso, dalla costante padronanza delle condizioni nelle quali il calcolo delle probabilità si applica convenientemente all'enumerazione fornita dall'osservazione, dal senso che si può attribuire agli scarti tra i valori delle probabilità risultanti da questo calcolo e i valori delle frequenze realizzate.

È indubbiamente nell'uso di procedure statistiche che meglio risalta la distanza che separa l'oggetto della conoscenza scientifica dai fatti come vengono sperimentati nella loro singolarità. Ciò nondimeno, questa distanza è già notevole cosí come si presenta in tutte le varianti del metodo sperimentale praticato dal fisico, dal chimico, dal biologo, cosí come dall'economista, dal sociologo, dallo psicologo. Ma è abbastanza chiaro che in questi ultimi tre casi i successi di questo metodo sono nella maggior parte dei casi eccessivamente limitati e incerti. Il fatto è che quando si tratta di sottoporre a un metodo d'indagine scientifica i comportamenti e l'opera dell'uomo, la drastica riduzione dell'evento singolare al fatto generico o statistico si scontra con la preoccupazione contraddittoria di conservargli la sua individualità. Certo, è legittimo pensare che il metodo sperimentale di cui si sono or ora delineate le esigenze possa e debba essere applicato al fatto umano, e che l'insufficienza dei risultati ottenuti in tal modo non sia una ragione sufficiente per un puro e semplice rifiuto. Un esame dettagliato di questi tentativi sembra autorizzare a riconoscere che «trattando i fatti umani come delle cose», purché si abbia qualche cautela nella determinazione dei concetti che definiscono tali oggetti, è ancora possibile fare molta strada sulla via della scienza. Bisogna riconoscere tuttavia che è necessario un orientamento del tutto diverso quale complemento di una conoscenza dell'uomo che, persistendo nel voler essere scientifica, cerca tuttavia di preservare il carattere specifico del suo oggetto. L'individuale, il singolare sembra effettivamente che giochino qui un ruolo essenziale, dal quale si può fare astrazione solo in via del tutto provvisoria. Mentre era permesso al fisico abbandonare i tratti individuali degli eventi singolari del mondo fisico alla pratica dell'ingegnere, o dell'artigiano o dell'operaio, non è affatto permesso allo psicologo e al sociologo disinteressarsi in modo definitivo dell'individuo e della sua storia. Prendendo a prestito il vocabolo dalla medicina, si chiamerà metodo *clinico* l'orientamento strategico della conoscenza che voglia costituirsi in modo scientifico verso l'individuale.

Questo atteggiamento presuppone anzitutto che il soggetto conoscente stabilisca con l'oggetto individuale da conoscere una relazione che fa di questo il portatore di «significati». Che si tratti di un evento, di un'opera o di una persona, questo oggetto individuale rimanda a una rete di rappresentazioni piú o meno ricca, piú o meno coerente relativa all'osservatore. Neutralizzando il carattere individuale, il fisico, il naturalista, fa astrazione da questa rete, e in questo appunto consiste principalmente la riduzione dell'oggetto a oggetto di natura. Per lo psicologo, per il sociologo, si tratta di conservare questo aspetto significante dandogli una forma rappresentabile in un quadro; se vuol fare un'opera scientifica deve anch'egli tentare di sostituire al vissuto gli schemi astratti manipolabili del suo pensiero logico. Ma la riduzione dei «significati» a strutture formali solleva nuove difficoltà, esige che si inventino tipi di modelli differenti da quelli che la scienza del fatto non umano ha utilizzato.

Ci si limiterà a sottolineare uno dei tratti che paiono piú importanti di questa specificità dell'uso «clinico» dei modelli che consiste nella loro molteplicità *necessaria*. Sembra che il rappresentare un fatto umano mediante un unico modello, che si dispiega su un solo piano, lo spogli immancabilmente del suo carattere singolare, lo riduca alla piattezza dell'oggetto fisico. Al contrario sembra che lo «spiegamento» su piú livelli delle strutture proposte dallo psicologo, dal sociologo, dall'economista per descrivere e chiarire l'organizzazione di un fatto

umano permetta la convergenza verso una conoscenza dell'individuale. Non che questa sovrapposizione e questo incastro di modelli astratti restituisca effettivamente l'individualità dell'oggetto vissuto dall'osservatore; l'individuo per la scienza non è mai altro che un punto di fuga, un limite mai raggiunto. Ma il carattere individuale dell'oggetto si riflette in questa strategia convergente mai del tutto compiuta.

Tale metodo di approssimazione all'individuale, benché orientato verso la conoscenza, sfocia necessariamente in una conoscenza applicata. Il suo limite è il contatto con questa realtà individualizzata, contatto che non si può effettuare nel cerchio stesso della scienza. Questo contatto naturalmente ha luogo per lo piú nella forma di una pratica che nulla deve al metodo scientifico; ma se si deve costruire una scienza dell'uomo, si pensa che lo si possa fare solo tracciando quest'altra «via all'individuale», solo costruendo quei «filtri» – nel senso in cui l'intendono i matematici – che convergono verso l'oggetto individualizzato come verso il proprio limite.

Rimane il fatto che le indicazioni date su questo metodo clinico sono l'espressione di una speranza piú che la descrizione di esempi riusciti. Sembra però che una conoscenza scientifica dell'uomo si orienti in questa direzione, e che il suo successo non dovrebbe sembrare piú improbabile del successo del metodo sperimentale nelle scienze della natura nel momento in cui quel metodo è uscito dalle mitologie e dai bestiari.

4. *Esiste un metodo al di fuori dei metodi scientifici?*

Un'ultima questione che non si può fare a meno di trattare è quella espressa dal titolo di questo paragrafo. Sembra infatti che si sia fin qui ammesso tacitamente che ogni metodo consiste in una semplice *trasposizione* dei metodi della scienza a ogni tipo di pratica. Vi è chi considera questa trasposizione ovvia e ne esorta l'applicazione; vi è chi la considera il segno dell'incapacità dell'uomo a dominare veramente il senso della propria vita. La tecnica degli antichi non era affatto, in generale, il risultato di tale trasposizione: infatti esisteva addirittura prima che venisse costituito il metodo scientifico come strategia cosciente di conoscenza. Nel senso assunto a partire dalla fine del XVII secolo, la tecnica è al contrario un prolungamento volontario della scienza, anche se mutua da quest'ultima i suoi procedimenti per cosí dire «tattici», piú che la sua strategia d'insieme; a questo livello di organizzazione del particolare, tecnica e scienza tendono del resto a confondersi su piú di un punto e sono ormai impossibili da separare l'una dall'altra. Ma se si guardano le pratiche umane nel loro insieme, non si può fare a meno di vedere che questa trasposizione degli aspetti tattici del metodo scientifico è necessariamente inquadrata in due momenti dell'azione che non possono provenire da quel metodo.

«A valle» dell'operazione tecnica infatti si incontra il contatto diretto con l'individuale, e questo non solo nei rapporti fra uomini e nei fatti umani, ma anche nelle manipolazioni degli oggetti della natura. Ogni procedimento tecnico che venga veramente condotto a termine sfocia in un'*arte*. Si designano con questa parola tutte le modalità che questo contatto effettivo con l'individuale può rivestire. Sembra che le si possa caratterizzare in primo luogo con il fatto che l'uomo si rappresenta il mondo sul quale deve agire come un complesso per lui significante, solo parzialmente ridotto dai metodi di tipo scientifico, sovradeterminato rispetto al modello o ai modelli astratti che quelli gli propongono. Gli elementi sovradeterminanti che entrano in questo complesso realmente vissuto quando l'azione metodica si arresta vengono trattati con dei mezzi che sono piú o meno inventati, che sono piú o meno voluti e che esprimono l'uomo in quanto individuo senza che sia possibile codificarli in precedenza. Una descrizione del genere sembra certo molto pretenziosa almeno quando si tratta degli atti umani concreti, del maneggiare lo strumento piú semplice in vista di ottenere l'effetto piú concreto. Il fatto è che questo compimento dell'azione non differisce essenzialmente, a questo proposito, da un dominio all'altro; si tratti di affilare un coltello, mettere a punto un motore, comunicare con un altro essere. Non si dirà piú allora che è questione di metodo ma piuttosto di *stile*, nel senso in cui lo stile, parlando in modo molto generale, è l'organizzazione e la messa in opera di ciò che, in un vissuto individuale, sfugge alla rete intessuta dai concetti per afferrare il fatto generico secondo un metodo. A posteriori si può certo descrivere uno stile come una strategia, ma questa descrizione non può dar luogo a ricette: applicarle a un altro caso singolo è di nuovo far emergere dei fatti di stile che la prima descrizione non poteva comprendere. E se è vero che il metodo, come si è visto sopra, è essenzialmente una lotta contro l'aleatorio, come stupirsi perché la sua applicazione si arresta proprio dove la percezione e l'azione finiscono con l'accettare e sfruttare il caso?

«A monte» dell'operazione tecnica si incontra la riflessione sui fini e gli scopi, o piú in generale sul significato, dell'esperienza umana come un tutto. Tale sembra essere il progetto della filosofia, quale che ne sia la forma e l'obiettivo apparente o confessato. Organizzare questo significato vissuto in un sistema, sia pure non esplicitato – e in ogni caso differente dalle strutturazioni astratte che la conoscenza scientifica mira a istituire – richiede probabilmente una strategia. Molti fra i piú grandi filosofi hanno persino rivendicato l'invenzione di un metodo come l'aspetto piú importante del loro contributo. Platone descrive e illustra il «metodo socratico» mediante il quale, in un finto dialogo, un pensiero rivela a se stesso i propri presupposti e incontra le proprie contraddizioni interne. Descartes vuole identificare essenzialmente il metodo scientifico dell'analisi a ritroso per la ricerca dei principî e il metodo filosofico. Hegel instaura un cammino progressivo in tre momenti, dove la negazione svolge un ruolo motore. Husserl insiste a lungo sull'opportunità di sospendere tutte le pretese evidenze per giungere a una descrizione pura e semplice delle «cose» stesse, tali quali sono originariamente percepite dalla coscienza... Questa molteplicità di metodi preconizzati dai filosofi può far sospettare a buon diritto che non si tratti qui del metodo nel senso in cui la scienza autorizza a definirlo. Conviene parlare anche in questo caso di stile. Certo, l'attività filosofica del pensiero produce dei concetti e non delle immagini o dei simulacri; ma non li concatena come la scienza

e non mira, come la scienza, a costruire dei modelli astratti dell'esperienza. La sua ricerca consiste in fin dei conti nel definire l'atteggiamento dell'uomo verso il rapporto che vuole stabilire ora la sua esperienza vissuta e i concetti. Non per questo è metodo; e lo stesso Descartes, dal momento che assimila la condotta della ragione nelle scienze alla condotta della ragione nella filosofia, assicura: «Il mio scopo non è... quello d'insegnar il metodo che ciascuno deve seguire per ben condurre la propria ragione, ma di far vedere soltanto in qual modo ho cercato di condurre la mia» [1637, trad. it. I, p. 133]. Del resto questo stile, che prende qui il posto del metodo, fa parte del contenuto stesso di una filosofia. E se anche si accettasse per un istante di allargare il senso della parola, sarebbe abbastanza esatto dire che ogni filosofia non è altro che un «metodo», per mezzo del quale un individuo propone di stabilire un rapporto fra il vissuto e i concetti. Ma tale metodo non potrebbe essere ridotto né a un insieme di procedure né a una strategia di costruzione di modelli astratti del fenomeno.

Quindi bisogna guardarsi dal credere che poiché non vi è propriamente parlando un metodo, in filosofia *tutto è lecito*. Probabilmente non si può parlare in questo caso di *verità* dimostrabili o universalmente attingibili; ma ciascuno degli stili filosofici che sono sopravvissuti nella memoria degli uomini genera dei criteri di *validità* dei propri prodotti. Validità alla quale, in una certa epoca e in una certa società, un certo individuo è piú o meno sensibile. Tuttavia, indipendentemente da questa adesione, il lettore attento e critico può discernere se il suo autore è fedele alla propria norma di validità, se è un filosofo rigoroso o no, e se questa norma stessa è o non è severa. Si può dunque parlare non già di filosofi «falsi» ma di filosofi «mancati», condannati piú da errori di stile che da errori di metodo. Il lettore attento e appassionato, se aderisce al proposito del filosofo, imita il suo cammino e lo rivive, l'analizza e ne scopre i presupposti, se anche lui vuole essere un filosofo. Ma invano vi cercherebbe *il* metodo, al quale basterebbe che ogni uomo di buona fede e spirito retto si ispiri per giungere infine all'organizzazione universalmente accettata di tutto il vissuto degli uomini in un unico regno di significati, valori e fini. [G.-G. G.].

Descartes, R.
[1628] *Regulae ad directionem ingenii*, in *Opuscula posthuma, physica et mathematica*, Blaeu, Amsterdam 1701 (trad. it. in *Opere*, Laterza, Bari 1967).
1637 *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences... Plus la Dioptrique, les Météores, et la Géometrie*, Maire, Leiden (trad. it. *ibid.*).

Pascal, B.
[1656] *De l'esprit géométrique et De l'art de persuader*, I. *De la méthode des démonstrations géométriques, c'est-à-dire méthodiques et parfaites*, s. e., Paris 1779; ora in *Œuvres complètes*, Seuil, Paris 1963, pp. 349-55.

In generale il metodo è uno **strumento** per vincere l'aleatorio, una strategia (cfr. **tattica/strategia**) per ridurre il gioco del caso (cfr. **caso/probabilità, giochi**) ad elemento razionale (cfr. **razionale/irrazionale**), misurando e classificando (cfr. **misura, sistematica e classificazione**) ciò che resterebbe altrimenti nel campo dell'**approssimazione** (cfr. anche **determinato/indeterminato, ordine/disordine**). Grazie al metodo si ha cosí una **riduzione** dell'incertezza (cfr. **certezza/dubbio**) e del margine di **errore**. Ma il metodo è anche utile ad un risparmio dello sforzo di **cognizione**, e da questo punto di vista il metodo ideale sarebbe un **algoritmo**.

In realtà, i metodi nascono dai limiti delle situazioni di **conoscenza** e seguono regole di **invenzione** che operano sul **segno**, come risulta dallo studio del metodo nelle **matematiche**. Ogni scienza ha alla sua base un metodo, nella forma in cui esso si è sviluppato attraverso i passaggi storicamente fondamentali dell'**analisi/sintesi**, di origine cartesiana, e della **combinatoria**, di matrice leibniziana. Esemplare è il caso della **fisica**, dove il metodo è strettamente legato all'**esperimento**, alla costruzione di un'**ipotesi** basata sui dati (cfr. **dato**) dell'esperienza (cfr. **empiria/esperienza**; cfr. anche **deduzione/prova, induzione/deduzione**), alla valutazione di una **probabilità** (cfr. anche **induzione statistica**). In psicologia, invece, il metodo si manifesta quale percezione del, e/o approccio clinico al, singolo portatore di significati (cfr. **senso/significato, apprendimento**). Al di fuori del campo strettamente scientifico, il metodo, infine, diviene solo piú **codice** regolatore del rapporto fra singolo e **struttura**, diventa **stile**.